

# Белорусские астрономические олимпиады

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

### XV РЕСПУБЛИКАНСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ

## Решения и схема оценивания заданий практического тура

*30 марта - 4 апреля 2009 года*

### Наблюдения (10 баллов)

#### 1. Ночное небо в горах (5 баллов)

На предлагаемом фотоснимке воспроизведена картина Вашего путешествия (автомобиль припаркован слева). Укажите, какие звезды обозначены цифрами. Определите широту площадки и кратко опишите метод.

1.  $\alpha$  Малой Медведицы (Полярная)
2.  $\alpha$  Цефея
3.  $\gamma$  Дракона
4.  $\alpha$  Лебедя (Денеб)
5.  $\alpha$  Лиры (Вега)
6.  $\alpha$  Орла (Альтаир)
7.  $\alpha$  Скорпиона (Антарес)
8.  $\alpha$  Центавра
9.  $\beta$  Центавра
10.  $\alpha$  Южного Креста

Широту можно определить с помощью Полярной звезды, звезд и созвездий и Млечного пути несколькими методами. Оценивается любой из них. Полученное значение широты: 20°N. Действия в данной задаче происходят на Гавайских островах на горе Мауна Кеа. На левом краю картинки находится башня Канадско-Франко-Гавайского телескопа, на правом краю возвышается большая обсерватория Джемини-Север.

Каждая отождествленная звезда — **0.4 балла**. Принимаются ответы вида " $\alpha$  Ориона" или собственные названия. Указание правильного значения широты — **0.5 балла**, описание метода — **0.5 балла**.



Подняться на гору Мауна-Кеа можно только на внедорожнике с V12 под капотом, как, например, на новом концепт-каре от Белорусских астрономических олимпиад.

## 2. Луна (5 баллов)

Укажите названия кратеров, морей, океанов и гор на Луне, отмеченные цифрами на фотографии. Какие из обозначенных букв соответствуют местам посадки лунных модулей «Аполлон-11» и «Аполлон-13»?

1. Кратер Тихо
2. Океан Бурь
3. Море Дождей
4. Море Влажности
5. Море Облаков
6. Море Холода
7. Море Ясности
8. Море Спокойствия
9. Море Кризисов
10. Море Изобилия
11. Море Нектара
12. Кратер Кеплер
13. Кратер Коперник
14. Кратер Платон
15. Горы Апеннины

Данная часть задания оценивается в сумме **4 баллами**. Если максимальное число указанных объектов в лучшей работе  $\leq 4$ , то за каждый объект каждый участник получает **1 балл**, если  $> 4$ , то максимальный результат нормируется на **4 балла**, другие работы оцениваются пропорционально с использованием округления до **0.1 балла**.

Места посадки лунных модулей обозначены следующими точками:

- Аполлон-11 — точка G.
- Аполлон-12 — F.
- Аполлон-13 — Посадки не было. Во время полета аппарата на борту случилась авария, экипаж в аварийном режиме вынужден был вернуться на Землю. Предполагаемое место посадки — E.
- Аполлон-14 — D.
- Аполлон-15 — C.
- Аполлон-16 — B.
- Аполлон-17 — A.

Участники олимпиады в листе ответов должны указать точку G для Аполлона-11 (**0.5 балла**) и написать, что посадки Аполлона-13 не было (**0.5 балла**).

# Работа с виртуальным планетарием *Cartes du Ciel* (20 баллов)

## Блок А. Звездное небо (10 баллов)

1. Найдите азимут восхода и захода Солнца.

Для 1 апреля 2009 года азимут восхода и захода Солнца равен  $+81^\circ$  и  $+279^\circ$  соответственно.

2. Укажите время истинного полудня.

Другими словами нам нужно найти момент верхней кульминации центра солнечного диска. Это значение представлено в программе в строке *Кульминация* и составляет 13:15.

3. Определите склонение Солнца.

Заметим, что в астрономических программах, как правило, склонение и прямое восхождение обозначается *DE* и *RA* соответственно, в программе для каждого объекта приведено 2 значения этих параметров, нужное нам находится в строке *Date*, т.е. для текущей даты. Это  $+04^\circ 36' 10''$ .

4. Какое созвездие будет в зените в полночь?

Большая Медведица.

5. Возможно ли было бы увидеть сегодня на небе Марс? Объясните почему.

Единственное время, когда его теоретически можно было бы увидеть на небе — это рано утром до восхода Солнца. Однако, Марс восходит всего на полчаса раньше Солнца, а значит уже будут сумерки и Марс с видимой звездной величиной  $1.2^m$  не будет виден.

6. На какое угловое расстояние Полярная звезда удалена от Полюса мира?

Его мы можем найти по формуле  $90^\circ - \delta$ , где  $\delta$  — склонение Полярной звезды, равное  $+89^\circ 18' 14''$ . Тогда искомое расстояние  $41' 46''$ .

7. В каком созвездии находится звёздное скопление M41?

Чтобы найти скопление, можно либо воспользоваться поиском, либо найти его непосредственно на карте. А находится оно в созвездии Большого Пса.

8. Найдите фазовый угол Луны.

Фазовый угол Луны 1 апреля составляет  $108^\circ$ .

9. Определите либрацию Луны по широте и долготе. Что означает каждая из них? (Опишите в несколько предложений)

Либрация по широте и долготе в 9:00 составляет  $-3.59^\circ$  и  $-0.80^\circ$  соответственно. Либрацией называется видимое покачивание синхронно врачающегося спутника при его наблюдении с планеты. Либрация Луны по долготе наблюдается с периодом в один аномалистический месяц и величиной  $\pm 7^\circ 54'$  вследствие равномерного вращения Луны вокруг своей оси и неравномерного движения по эллиптической орбите. Либрация Луны по широте наблюдается с периодом в драконический месяц и величиной  $\pm 6^\circ 50'$  вследствие наклона оси вращения Луны к плоскости орбиты Земли.

10. Укажите визуальную звездную величину звезды HR1708. Что это за звезда? Является ли она незаходящей?

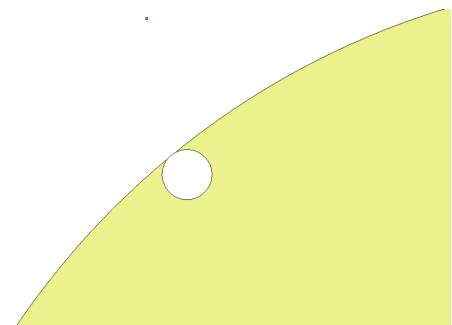
Узнать данные об этой звезде можно воспользовавшись поиском по звёздам. В итоге получим, что это Капелла ( $\alpha$  Возничего), она незаходящая и её звёздная величина  $0.08^m$ .

## Блок В. Венера (3 балла)

В 2004 году произошло очень редкое явление — прохождение Венеры по диску Солнца. Следующий раз это произойдёт 06.06.2012, а потом лишь в 2117 году. При помощи планетария исследуйте ближайшее прохождение 2012 года.

1. Найдите время второго контакта.

Поскольку программа не предоставляет возможности автоматического расчета времени покрытий или про-



хождений, то узнать его можно лишь с некоторым приближением. Для этого достаточно посмотреть время когда края дисков Венеры и Солнца совпадут (см рис.). Это 22:12.

2. *Опишите (любым из способов) ту часть поверхности Земли, с которой можно будет наблюдать второй контакт.*

Фактически нам нужно найти часть Земли, освещённую Солнцем. Это будет полусфера (мы не учитываем сплюснутость Земли, рефракцию атмосферы, ненулевой диаметр диска Солнца и т.д.), центр которой есть точка, в которой Солнце находится в зените в момент второго контакта (который был найден в предыдущей задаче). Широта этой точки — это склонение Солнца ( $+22^{\circ}39.5'$ ). Долготу найдём следующим образом: установим нулевой меридиан в программе и найдём, что время кульминации Солнца 12:02. Нам же нужно чтобы она была в 22:12, для этого надо взять долготу, равную разности этих времён, выраженную в градусах. Получим 10 часов 10 минут или  $152^{\circ}30'$  западной долготы. Также принимаются любые другие правильные варианты решения.

3. *Опишите (в одно-два предложения) условия наблюдения данного явления на территории Беларусь.*

При наблюдении с территории Беларусь большая часть прохождения будет не видна, т.е. Солнце будет в этот момент под горизонтом. Увидеть же можно будет рано утром только последнюю треть прохождения.

## Блок С. Галилео Галилей (7 баллов)

2009 год объявлен годом астрономии. И это не случайно, ведь ровно 400 лет назад в 1609 году Галилео Галилей впервые направил телескоп в небо. И сразу же сделал огромное число открытий. Оказывается, к списку его открытых мог бы ещё добавиться Нептун за 234 года до своего открытия. В конце 1612 – начале 1613 года Галилей наблюдал в свой небольшой телескоп Юпитер и его спутники. Но во время этих наблюдений он, сам того не зная, зарисовал и Нептун, считая его звездой! По сохранившейся зарисовке от 27 января 1613 года, он зафиксировал на небе две звезды приблизительно одинаковой яркости, одна из которых – это TYC0280-00824-1, а вторая являлась Нептуном.

1. Найдите звёздные величины этой звезды и Нептуна в тот день.

Нептун –  $7.9^m$ ; звезда TYC0280-00824-1 –  $7.0^m$ .

Более того, Галилей зафиксировал Нептун и следующей ночью и написал: "...Немного дальше были расположены на одной линии две звезды. Они также наблюдались мной минувшей ночью, но мне почему-то кажется, что они были немного дальше друг от друга..." Как видим, он был близок к открытию, однако по неизвестным причинам он прекратил дальнейшие наблюдения.

2. Попробуйте указать вероятные причины того, что Галилей не обратил внимание на это смещение Нептуна относительно звезды, т.е. почему он не смог понять, что видел новую планету?

Несколько вероятных причин таковы:

1) В то время Нептун был вблизи точки стояния, поэтому его движение было слишком слабым чтобы идентифицировать его как планету.

2) У всех известных на тот момент планет был виден диск в телескоп, диск же Нептуна не был заметен и он выглядел как звезда (его диск могут увидеть только современные телескопы).

3) Оптика того времени была некачественной, что могло дать повод Галилею усомниться в замеченном смещении.

Также принимаются любые другие версии, которые теоретически могли бы иметь место.

3. *Оцените это смещение, т.е. найдите на какое угловое расстояние приблизился Нептун к звезде за этот один день.*

Берем, например, моменты 22:00 27.01.1613 и 22:00 28.01.1613 UTC. Угловое расстояние между Нептуном и звездой в эти моменты таковы:  $00^{\circ}03'08.8''$  и  $00^{\circ}02'11.3''$ , таким образом, Нептун приблизился к звезде на 57.5 секунд.

Более того, Галилей в это же время мог стать первым в истории, кто наблюдал бы прямое покрытие планет, а именно покрытие Нептуна Юпитером.

4. Найдите дату покрытия.

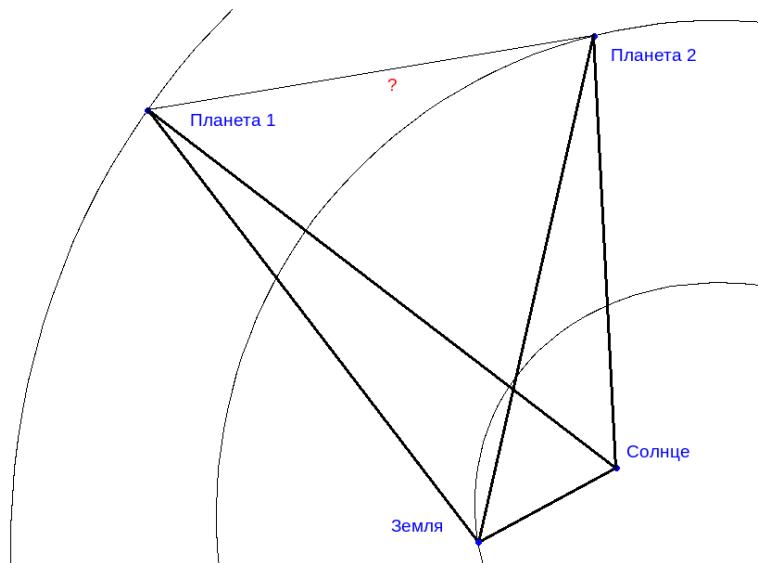
5. Сколько времени оно продолжалось?

6. Во сколько раз видимый диаметр Юпитера был больше диаметра Нептуна?

Покрытие произошло в ночь с 3 на 4 января и продолжалось 9 часов. Отметим, что в это же время произошло ещё и прохождение спутника Ио по диску Юпитера, в то время как Нептун был скрыт за диском. Диаметры Юпитера и Нептуна составляли соответственно 39 и 2.4 секунды, т.е. диаметр Юпитера больше в 16 раз.

7. Найдите расстояние (в а.е.) между Юпитером и Нептуном в момент покрытия.

Поскольку в момент покрытия Земля, Юпитер и Нептун находились практически на одной линии, то чтобы вычислить расстояние между Юпитером и Нептуном, достаточно знать расстояния от каждой из этих планет до Земли. Эти расстояния рассчитываются в программе и равны 5.06 а.е. и 29.93 а.е. соответственно для Юпитера и Нептуна. Их разность, равная 24.87 а.е., и есть исскомое значение. Заметим, что программа рассчитывает расстояния от планет и спутников как до Земли, так и до Солнца. Это позволяет найти расстояние между планетами в общем случае (с предположением, что планеты и Солнце лежат в одной плоскости). Для этого нужно решить геометрическую задачу, представленную на рисунке, где жирным выделены отрезки, длины которых известны.



**Схема оценивания:** каждое задание оценивается в **1 балл**.

# Анализ данных (10 баллов)

## Исследование цефеид галактики M100

Каждый вопрос данного задания оценивается **1 баллом**.

1. Используя кривые блеска определите абсолютные звездные величины цефеид  $M$ .
2. Предложите метод определения средней видимой звездной величины цефеид  $\langle m \rangle$ . Используя предложенный метод, определите звездную величину  $\langle m \rangle$ .
3. Определите расстояние до каждой из цефеид.
4. Кратко (в одно или несколько предложений) объясните причины различий расстояний.
5. Определите среднее значение расстояния до 12 цефеид, которое будем считать расстоянием до галактики M100.

Приведенная ниже таблица содержит данные для ответов на вопросы 1, 2, 3 и 5.

Номер цефеиды	$t_2$ [сут.]	$t_1$ [сут.]	$P = t_2 - t_1$ [сут.]	$M$	$m_{\max}$	$m_{\min}$	$\langle m \rangle$	$\Delta m$	$D$ [Мпк]	$\bar{D}$ [Мпк]
1	100.0	46.5	53.5	-6.15	24.50	25.30	24.90	0.80	16.25	
2	58.5	11.0	47.5	-6.01	24.90	25.90	25.40	1.00	19.15	
3	61.5	18.5	42.5	-5.88	25.10	26.40	25.75	1.30	21.15	
4	74.0	35.0	39.0	-5.77	25.00	25.95	25.48	0.95	17.77	
5	50.0	19.0	31.0	-5.50	25.80	27.05	26.43	1.25	24.22	
6	50.0	21.0	29.0	-5.42	25.80	27.10	26.45	1.30	23.61	19.85
7	35.0	4.5	30.5	-5.48	25.80	27.20	26.50	1.40	24.85	
8	46.0	19.0	27.0	-5.33	25.05	26.40	25.73	1.35	16.25	
9	31.0	5.0	26.0	-5.28	25.90	27.00	26.45	1.10	22.22	
10	27.0	2.5	24.5	-5.21	25.00	26.10	25.55	1.10	14.20	
11	43.0	19.0	24.0	-5.19	25.55	27.00	26.28	1.45	19.61	
12	38.0	16.0	22.0	-5.08	25.60	27.00	26.30	1.40	18.90	

Участники олимпиады могут вычислять видимую звездную величину как среднее арифметическое от максимальной и минимальной:

$$\langle m \rangle = \frac{m_{\min} + m_{\max}}{2}.$$

Однако в литературе эту величину определяют как медиану кривой блеска, т. е. площади сверху и снизу от  $\langle m \rangle$  равны.

Так как M100 является очень далекой галактикой, другие методы определения расстояния (например построение зависимости  $m(P)$ ) не дают хороших результатов. Поэтому мы предоставили участникам готовую зависимость "период — светимость" вместо возможности самостоятельного определения коэффициентов в данной формуле.

Первой причиной различия расстояний являются обычные погрешности измерений. Измерения, выполненные "от руки" не являются точными. Точность может быть улучшена применением более тонких методов. Другой причиной может быть присутствие двух классов цефеид со слегка отличающимися характеристиками.

6. Рассчитайте погрешность определения расстояния в предыдущем вопросе.

В качестве погрешности выбирают стандартную ошибку среднего, поскольку она характеризует отклонение среднего значения ограниченной выборки:

$$s_D = \frac{\sigma_D}{\sqrt{12}} = 0.989,$$

где

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{11} \sum_{i=1}^{12} (D_i - \bar{D})^2} = 3.43.$$

Участники олимпиады могут также использовать (при достаточной обоснованности) значение  $\sigma$  (или  $2\sigma$ ,  $3\sigma$ ). Любое решение оценивается одинаково. Однако, обоснование использования  $s$  может быть оценено дополнительно (+0.5 балла, на рассмотрение жюри).

7. Вычислите коэффициент корреляции  $r(P, \Delta m)$  периода  $P$  в сутках и разности максимальной и минимальной звездных величин  $\Delta m$ .
8. Будем считать, что зависимость  $\Delta m$  от  $P$  можно аппроксимировать линейной функцией вида  $\Delta m = \alpha + \beta P$ , называемой линией регрессии. Получите вид данной зависимости, для этого рассчитайте коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ .
9. Нанесите точки  $P_i, \Delta m_i$  ( $i = 1 \dots 12$ ) и полученную в предыдущем вопросе функцию регрессии на график в листе ответов.

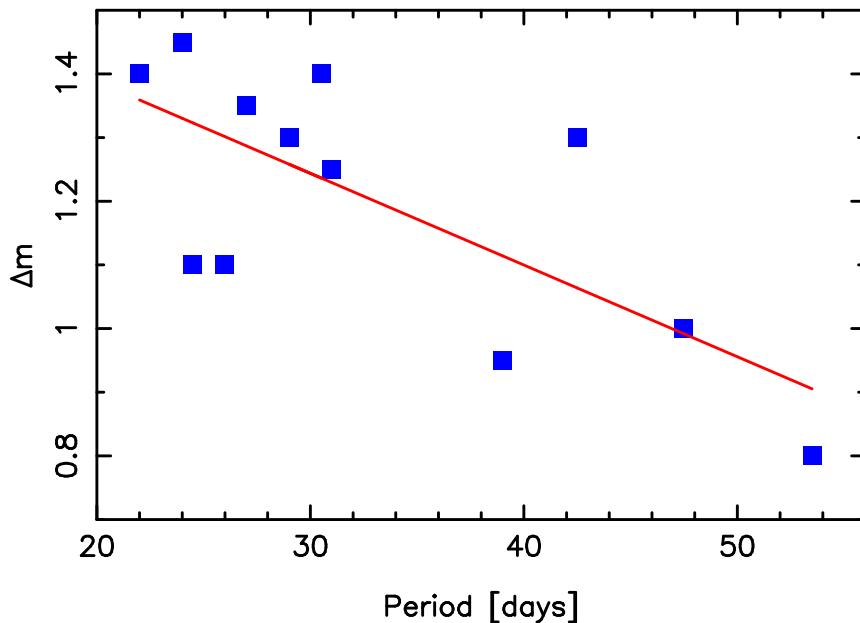
Коэффициент корреляции:

$$r(P, \Delta m) = -0.70997 \implies \text{т. е. зависимость все же есть.}$$

Коэффициенты в уравнении регрессии:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1.6759 \text{ и } \beta = -1.4402 \times 10^{-2} \implies \\ &\implies \boxed{\Delta m = 1.6759 - 1.4402 \times 10^{-2} P} \end{aligned}$$

Точки  $P_i, \Delta m_i$  и линия регрессии представлены на рисунке ниже.



10. Красное смещение скопления Девы, согласно последним измерениям, составляет 0.00467. Рассчитайте постоянную Хаббла  $H_0$ , используя это значение и определенное Вами расстояние. Скорость света равна  $3.00 \times 10^5$  км/с.

$$H_0 = \frac{0.00467 \times 3.0 \times 10^5}{19.85} = 70.58 \text{ км/с/Мпк} \simeq 70.6 \text{ км/с/Мпк.}$$