

САМАРСКИЙ ДВОРЕЦ ДЕТСКОГО И ЮНОШЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА  
САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

---

---

УСЛОВИЯ КОНКУРСНЫХ ЗАДАЧ  
ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ  
**SAMRAS-2016**  
СРЕДИ УЧАЩИХСЯ 10-11 КЛАССОВ  
ЗАОЧНОГО ТУРА № 2

---

---



Самара, 2016г.

## *Дорогие друзья!*

Вашему вниманию в данном релизе представлены 18 оригинальных задач трех уровней сложности – «Новичок» (уровень А), «Знаток» (уровень В) и «Профи» (уровень С). Задачи составлены в соответствии с **Перечнем вопросов по астрономии, рекомендуемых предметной методической комиссией Всероссийской Олимпиады по астрономии и физике космоса для подготовки школьников 10-11 классов к решению задач заключительного этапа Олимпиады.**

**При использовании материалов релиза ссылка на документ обязательна!**

**Ссылка: «Условия конкурсных задач олимпиады по астрономии SAMRAS-2016 среди учащихся 10-11 классов заочного тура № 2». – <http://v937184r.bget.ru/SamRAS.htm>**

### **Памятка участника SamRAS-2016**

- 1. *Официальная страница Астрошколы:***  
<http://v937184r.bget.ru/SamRAS.htm>
- 2. *Официальная группа в VK:***  
<http://vk.com/samras2016>
- 3. *Электронный ящик SamRAS-2016:***  
samras2016@mail.ru
- 4. *Сроки подачи работ SamRAS-2016 тура № 2 на проверку:***  
**01.03.2016-30.04.2016!!!**

## Уровень «Новичок» (уровень А)

### Задача № 1. «Прямое и попятное движения небесных тел»

**Условие.** Какие небесные тела на звездном небосводе Земли могут совершать как прямые, так и попятные движения? Почему это происходит? Поясните на примере одного из ближайших таких тел к Земле, как образуется петля попятного движения. (3 балла).

### Задача № 2. «Галактики, видимые невооруженным глазом»

**Условие.** Назовите известные Вам галактики, (также укажите их видимую звездную величину и расстояние до них в парсеках) которые, в принципе (в идеальных условиях), могут наблюдаться невооруженным среднестатистическим глазом с поверхности (какой-либо ее точки) Земли? (за каждый правильный ответ 1 балл).

### Задача № 3. «Транзит самолета и солнечное затмение»

**Условие.** На рис. 1 представлена редкая фотография транзита самолета по диску Луны, во время солнечного затмения. Полагая, что корпус самолета лежит в картинной плоскости, определите на каком расстоянии, находился от наблюдателя самолет, если известно, что это был самолет Airbus A321, длина которого составляет  $\ell = 45$  м. (3 балла).



Рис. 1: фотография транзита самолета по диску Луны, во время солнечного затмения (источник: сайт общего доступа астрономической тематики).

### Задача № 4. «Высота полета и время транзита самолета»

**Условие.** Опираясь на данные предыдущей задачи, оцените по фотогра-

фии 1 а) линейную высоту  $H$  над Землей, на которой летел самолет, если солнечное затмение наблюдалось на высоте  $h_{\odot} = 15^{\circ}$ ; б) время его транзита по диску Луны, если известно, что самолет следовал со своей максимальной крейсерской скоростью  $V = 840$  км/ч, причем вектор скорости самолета все это время лежал в картинной плоскости и был направлен вдоль корпуса самолета. (4 балла).

**Задача № 5. «Покрывание Луной звезд, видимых невооруженным глазом»**

**Условие.** На звездном небе имеется приблизительно 6 тысяч звезд ярче  $6^m$ . Считая, что они распределены по небосводу равномерно, оцените, сколько таких звезд Луна покрывает за один сидерический месяц? Какова частота таких покрытий? Какое максимальное количество таких звезд может покрыть Луна за большой промежуток времени, например, за 558 лет? Угол наклона орбиты Луны к плоскости эклиптики равен  $i_{\zeta} = 5^{\circ}9'$ . (4 балла).

**Задача № 6. «Нетрадиционный способ использования лупы»**

**Условие.** Традиционно выделяют два способа использования лупы как инструмента, предназначенного для наблюдения мелких предметов, расположенных на конечном расстоянии, а именно, *традиционный* и *нетрадиционный*. Первый способ использования подразумевает, что рассматриваемый предмет находится на расстоянии, немного меньшем ее фокусного расстояния ( $f$ ), а глаз наблюдателя расположен вплотную к лупе. В этих условиях данный инструмент даст прямое увеличенное и мнимое изображение предмета. При этом увеличение лупы определяется как

$$\Gamma_0 = 1 + \frac{d_0}{f}, \quad (1)$$

где  $d_0$  – расстояние наилучшего зрения (для взрослого человека средних лет  $d_0 = 25$  см). При нетрадиционном способе лупу располагают на вытянутой руке на расстоянии  $L$  от глаза, рассматривая не мнимое, а действительное перевернутое изображение предмета (расположенного за фокусом лупы), формируемое лупой перед глазом на расстоянии ( $d_0$ ) наилучшего зрения. Представьте вывод формулы для увеличения лупы в нетрадиционном способе использования. При каком условии, с помощью данной лупы, нетрадиционным способом можно добиться большего увеличения чем при традиционном? Какова должна быть величина  $L$ , чтобы данное условие выполнялось для лупы с  $\Gamma_0 = 6^{\times}$ ? (5 баллов).

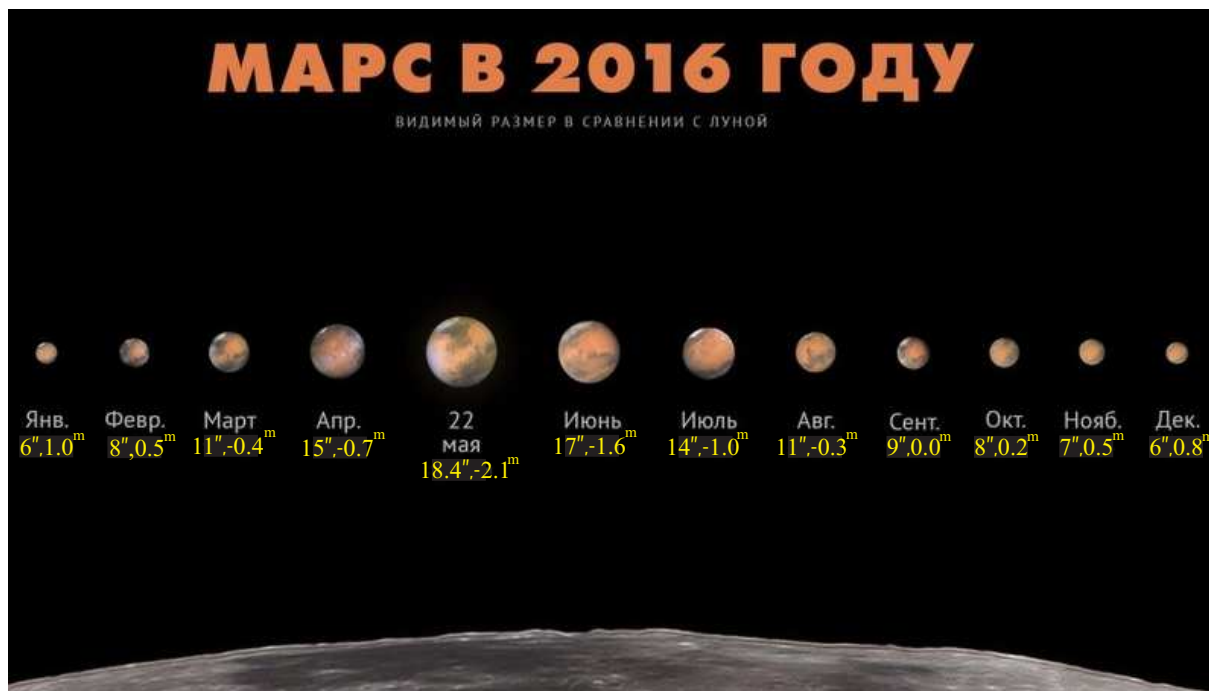


Рис. 2: к определению видимого образа Марса в различные моменты 2016 года, на фоне части диска Луны (источник: astro-lert.ru).

## Уровень «Знаток» (уровень В)

### Задача № 7. «Ближайшие квадратуры Марса»

**Условие.** На рис. 2 даны образы Марса (с указанием его углового диаметра и видимой звездной величины), которыми будет представляться данная планета землянину ежемесячно в 2016 году. Только с использованием радиуса Красной планеты ( $R_{\text{Марс}} = 3396$  км) и данных, представленных на рис. 2, определите какой из образов (укажите соответствующий ему месяц) будет соответствовать ему в а) западной квадратуре, б) восточной квадратуре? Оцените даты данных событий, угловые диаметры и видимую звездную величину Красной планеты в указанных конфигурациях. Орбиты Марса и Земли считать круговыми. Радиус земной орбиты равен  $a_{\oplus} = 1.00$  а.е., а период ее обращения вокруг Солнца –  $T_{\oplus} = 1.000$  год. (6 баллов).

### Задача № 8. «Частота двойных транзитов Меркурия и Венеры»

**Условие.** Как часто происходили бы транзиты одновременно Меркурия и Венеры (двойной транзит) по диску Солнца, если бы их плоскости орбит совпадали с плоскостью орбиты Земли, а сами орбиты были круговыми? Какова максимальная продолжительность двойного транзита? Сидерические периоды обращения Меркурия, Венеры и Земли принять равными  $T_{\text{Мер}} = 87.9691$  сут,  $T_{\text{Вен}} = 224.6980$  сут,  $T_{\oplus} = 365.2564$  сут соответственно, радиус земной орбиты –  $a_{\oplus} = 1.000$  а.е. (7 баллов).

### Задача № 9. «Восход Луны в полнолуние»

**Условие.** Астрономом-любителем была получена фотография Луны (см. рис. 3) на восходе в полнолуние. Оцените высоту центра диска Луны и ее



Рис. 3: фотография Луны на восходе в полнолуние (источник: сайт общего доступа астрономической тематики).

видимую звездную величину с учетом поглощения света. Для учета поглощения света атмосферой следует воспользоваться следующей формулой для интенсивности света<sup>1</sup>:

$$\mathcal{I}_{vis} = \mathcal{I}_0 P^{M(z)}, \quad \text{где} \quad (2)$$

$$M(z) = \frac{1}{\cos z + 0.50572 (96.07995 - z)^{-1.6364}}. \quad (3)$$

здесь  $\mathcal{I}_{vis}$  – интенсивность света небесного источника света у поверхности Земли, регистрируемого наблюдателем;  $\mathcal{I}_0$  – интенсивность света того же источника на верхней границе атмосферы;  $P$  – коэффициент прозрачности атмосферы (в нашем случае следует принять  $P = 0.75$ ),  $M(z)$  – **воздушная масса** – отношение оптической толщины атмосферы, проходимой лучами света от источника при зенитном расстоянии источника  $z$  (в градусах), к оптической толщине, проходимой при положении источника в зените ( $z = 0^\circ$ ), определяемая формулой (3) Кастена-Янга (Kasten-Young). Следует полагать, что видимая звездная величина Луны в фазе полнолуния, наблюдаемой в зените ( $z = 0^\circ$ ) равна  $m_V^{(0)} = -12.7^m$ . (8 баллов).

**Задача № 10. «Просветляющее покрытие для линз биноклей и телескопов»**

**Условие.** Для чего наносят просветляющее покрытие на рабочие поверхности линз биноклей и телескопов? Какое физическое явление здесь исполь-

<sup>1</sup> Смотри, например, Зверева С.В. В мире солнечного света. – Л.:Гидрометеиздат. – 1988. – 160с.

зуются? Какие варианты просветления сегодня используются для астрономических инструментов? Инструмент с каким вариантом просветления является наилучшим для астрономических наблюдений? Вычислите минимальную толщину однослойного покрытия (с показателем преломления  $n_c = \sqrt{n_g}$ , где  $n_g = 1.925$  – показатель преломления флинтгласа, сорта оптического стекла) линзы, чтобы лучи света, отвечающие максимальной чувствительности человеческого глаза и падающие нормально на ее поверхность, смогли пройти без отражения от поверхности? (8 баллов).

**Задача № 11. «Продолжительность истинных солнечных суток у планет»**

**Условие.** У какой классической планеты продолжительность истинных солнечных суток минимальная, а у какой – максимальная? С использованием традиционных справочных данных выполните максимально точно расчет искомой величины для всех классических планет Солнечной системы. (9 баллов).

**Задача № 12. «Транзит Земли по диску Солнца и его наблюдение»**

**Условие.** Вычислите (как можно точнее) величину телесного угла, соответствующего области небесной сферы, с которой можно наблюдать а) полный б) частный транзит Земли по диску Солнца. Орбиту Земли считать эллиптической. Какова величина в) относительного изменения потока солнечного излучения (в %) и г) амплитуды падения блеска Солнца при полном транзите планеты по диску центральной звезды, если его наблюдать с расстояния 10 пк? (10 баллов).

## Уровень «Профи» (уровень С)

**Задача № 13. «Кривая блеска НАТ-Р-7 и определение отношения радиусов тел»**

**Условие.** С использованием транзитного метода была получена кривая блеска (см. рис. 4) звезды НАТ-Р-7. Форма кривой обусловлена движением вокруг последней экзопланеты НАТ-Р-7b, периодическими прохождением ее по диску материнской звезды и последующими затмениями. Найдите аналитическую связь между глубиной транзита ( $\Delta F$ ) и отношением радиусов планеты и звезды ( $R_p/R_*$ ). Определите по данной кривой

- а) глубину транзита ( $\Delta F$ ) экзопланеты НАТ-Р-7b,
- б) отношение ( $R_p/R_*$ ),
- в) период обращения экзопланеты. (11 баллов).

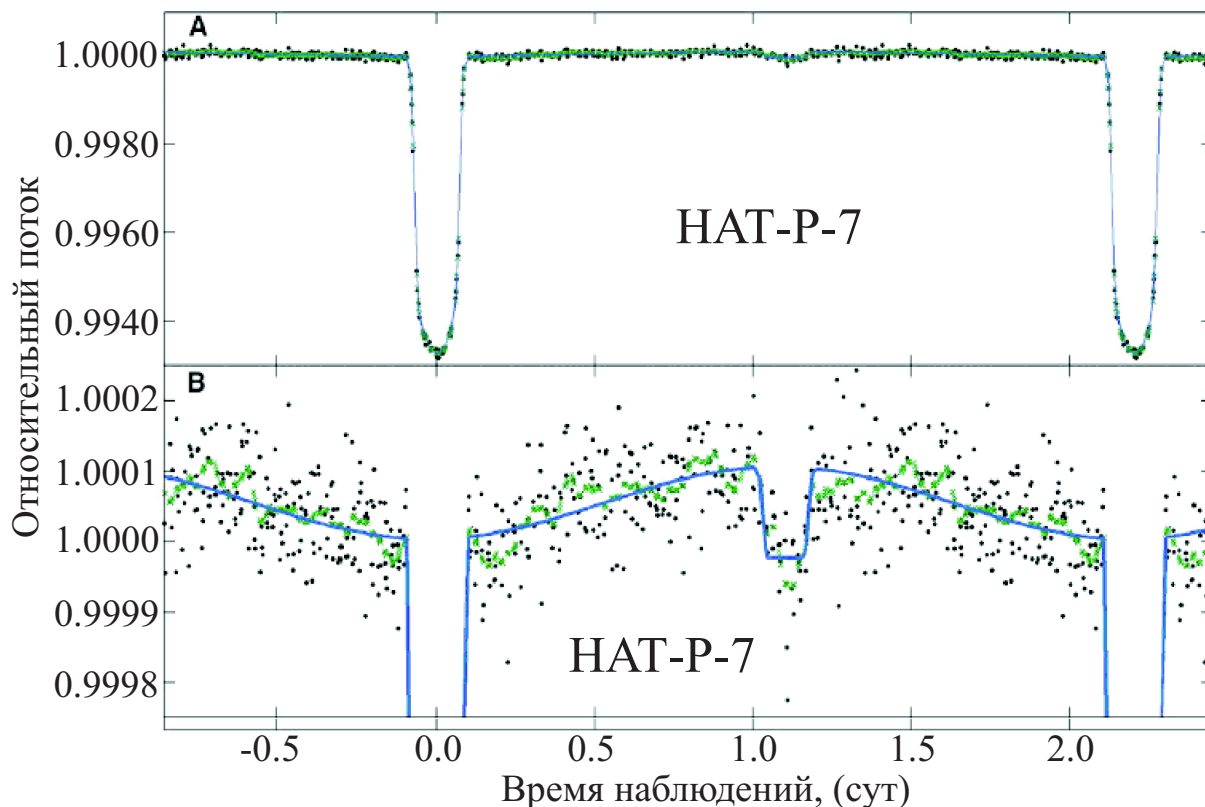


Рис. 4: Кривая блеска звезды HAT-P-7. Нижняя кривая показана с лучшим разрешением. Более глубокий минимум соответствует прохождению планеты HAT-P-7b по диску звезды, вторичный – затмению планеты родительской звездой (источник: NASA).

**Задача № 14. «Определение вероятности обнаружения транзита экзопланеты»**

**Условие.** Предположим, что экзопланета радиуса  $R_p$  движется вокруг центральной звезды радиуса  $R_*$  по орбите, близкой к круговой (но с отличным от нуля эксцентриситетом, т.е.  $\varepsilon \neq 0$ ), с большой полуосью  $a$ , периодом  $P$ . Предполагая, что всевозможные ориентации орбиты экзопланеты равновероятны, найдите аналитическое выражение для

- вероятности принципиальной возможности детектирования феномена транзита экзопланеты по диску данной материнской звезды,
- вероятности детектирования феномена центрального транзита экзопланеты по диску данной материнской звезды в данный момент времени.

Выполните численный анализ полученных результатов на примере Солнца и всех классических планет. (12 баллов).

**Задача № 15. «Времена транзитов (затмений) экзопланеты HAT-P-7b»**

**Условие.** Экзопланета HAT-P-7b (с радиусом  $R_p$ ) движется вокруг материнской звезды HAT-P-7 (с радиусом  $R_*$ ) по орбите, близкой к круговой (т.е. эксцентриситет  $\varepsilon = 0$ ), с большой полуосью  $a$ , наклонением  $i$  к картинной плоскости и периодом  $P$ . Найдите аналитические выражения для

- полного времени транзита (затмения)** ( $\Delta t_t$ ) – промежутка времени, отсчитываемого от момента начала прохождения (затмения) плане-



ты по диску (диском) материнской звезды, до момента ее полного схода (выхода) с (из-за) диска звезды,

**б) времени полного транзита (затмения) ( $\Delta t_f$ )** – промежутка времени, отсчитываемого от момента, когда диск планеты полностью "зашел" на (за) диск материнской звезды, до момента начала выхода планеты с (из-за) диска звезды

как функции параметров  $\mathfrak{R}_p$ ,  $\mathfrak{R}_*$ ,  $i$ ,  $a$  и  $P$ . По кривой блеска звезды НАТ-Р-7 (см. рис. 4) определите указанные времена. (13 баллов).

**Задача № 16. «Определение основных параметров системы "НАТ-Р-7"»**

**Условие.** С использованием данных и результатов решения задач № 13 и 15 настоящего тура, кривой блеска звезды НАТ-Р-7 (см. рис. 4), а также известных теоретических инструментов, в частности, связь массы ( $\mathfrak{M}_*$ ) и радиуса ( $\mathfrak{R}_*$ ) звезды:

$$\mathfrak{R}_* = k \mathfrak{M}_*^\chi, \quad (4)$$

где  $k$  и  $\chi$  – коэффициенты для конкретного класса светимости звезды (в случае НАТ-Р-7, следует полагать  $k = 1.06$ ,  $\chi = 0.945$ , данные параметры представлены в солнечных массах и радиусах соответственно), определите следующие параметры для звезды и экзопланеты: 1)  $\mathfrak{R}_*$ ,  $\mathfrak{M}_*$ , 2) большую полуось ( $a$ ) орбиты экзопланеты и ее наклонение ( $i$ ), 3) радиус экзопланеты  $\mathfrak{R}_p$ . Выполнить численный анализ результатов на примере системы НАТ-Р-7. (13 баллов).

**Задача № 17. «Максимальное количество горячих юпитеров, которые можно зарегистрировать в наблюдениях транзитным методом»**

**Условие.** Оцените максимальное количество экзопланет типа «горячий юпитер» (большая полуось которых равна  $a = 0.05$  а.е., эксцентриситет равен нулю, а орбита может иметь всевозможные ориентации), которые можно

**а)** в принципе, зарегистрировать в наблюдениях,

**б)** зарегистрировать в данный момент

с помощью ПЗС-матрицы, охватывающей участок небосвода с размерами  $2^\circ \times 2^\circ$  и установленной в фокусе телескопа (нацеленного на определенный участок небосвода) с диаметром объектива  $D_T = 40$  см у звезд спектральных классов  $F, G, K$ . Известно, что транзит экзопланеты (в идеальных условиях) еще можно наблюдать с помощью данного инструмента, если звездная величина звезды как минимум на  $\Delta m = 1^m$  меньше проникающей силы телескопа. Концентрация звезд указанных спектральных классов составляет  $n = 0.02$  пк $^{-3}$ , а количество экзопланет данного типа, около каждой такой звезды есть  $\alpha_{HJ} = 0.03$ . В качестве значений необходимых для расчетов

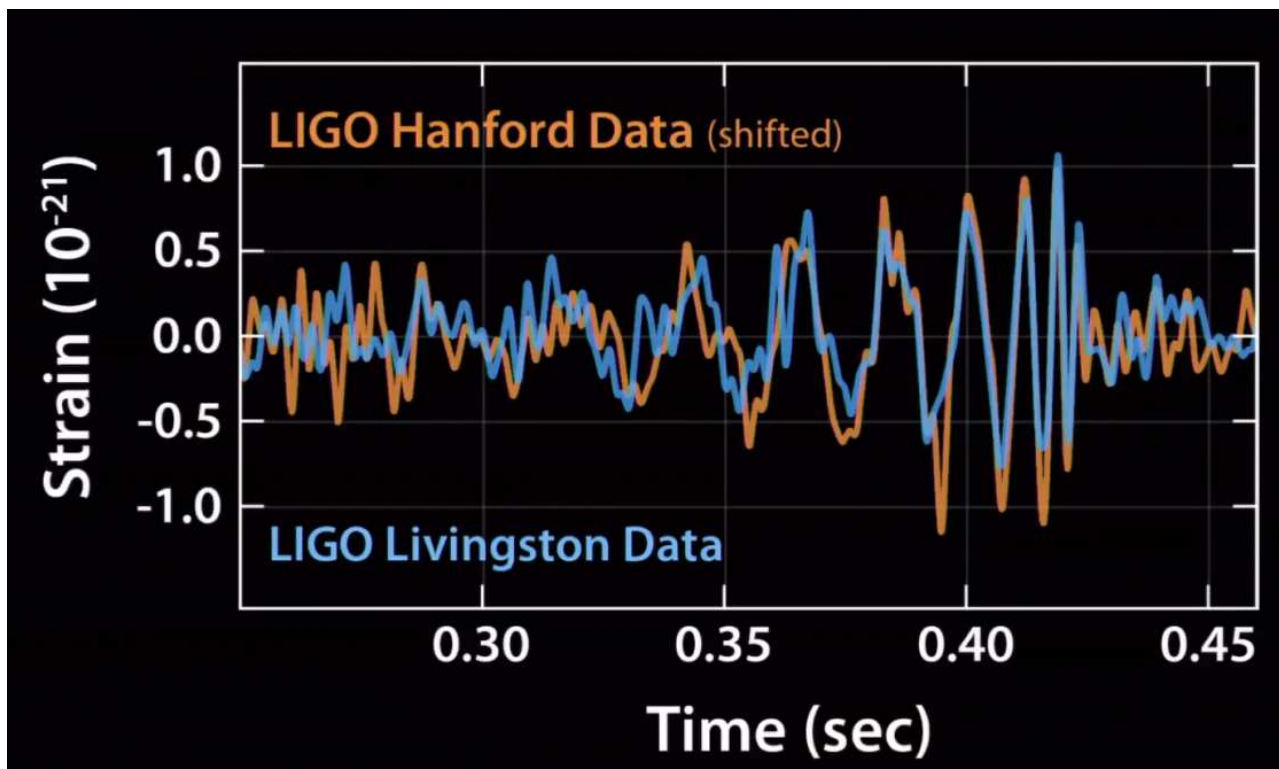


Рис. 5: кривые искомого сигнала, полученные с помощью двух крупных лазерных интерферометров, расположенных неподалеку от Ливингстона (штат Луизиана) и Хэнфорда (Вашингтон).

параметров звезд и экзопланет используйте соответствующие значения для Солнца и Юпитера. (14 баллов).

### Задача № 18. «Открытие гравитационных волн и слияние черных дыр»

**Условие.** Участниками проектов Advanced LIGO и Virgo 11 февраля 2016 года на пресс-конференции Национального научного фонда США было официально объявлено о фиксации сигнала от гравитационных волн акустического диапазона<sup>2</sup>. По заверению авторов открытия, источником волн стало слияние двух черных дыр. На рис. 5 представлены кривые искомого сигнала, определяющие специфический характер этого процесса – на рисунке, очевидно, повышение частоты колебаний со временем, что обусловлено взаимным падением тел друг на друга, во вращательном движении вокруг общего центра масс (что и предсказывала Общая теория относительности для сливающихся массивных объектов). С использованием данной кривой и известных теоретических инструментов оцените

1. частоту ( $\omega_0$ ) и период ( $P_0$ ) обращения черных дыр вокруг общего центра масс в момент слияния;
2. массы черных дыр  $\mathcal{M}_1$  и  $\mathcal{M}_2$  (в массах Солнца) и их радиусы  $\mathcal{R}_1$  и  $\mathcal{R}_2$  (в

<sup>2</sup> *Гравитационные волны* – колебания гравитационного поля, то есть периодические изменения метрики пространства-времени (так называемая "рябь пространства-времени"). В общей теории относительности и в большинстве других современных теорий гравитации гравитационные волны порождаются движением массивных тел с переменным ускорением. Гравитационные волны свободно распространяются в пространстве со скоростью света. Ввиду относительной слабости гравитационных сил (по сравнению с прочими) эти волны имеют весьма малую величину, с трудом поддающуюся регистрации.

км), если по скорости взаимного падения тел было определено отношение масс тел –  $\mathfrak{M}_1/\mathfrak{M}_2 = 1.24$ .

3. радиус  $\mathfrak{R}_3$  образовавшейся черной дыры;
4. частоту ( $\omega_3$ ) обращения образовавшейся черной дыры;
5. максимальную скорость взаимного падения тел, определяемой выражением

$$V_r = -\frac{64 G^3 (\mathfrak{M}_1 \mathfrak{M}_2)(\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)}{5 c^5 r^3}, \quad (5)$$

здесь  $r$  – расстояние между черными дырами.

6. количество энергии, выделившейся в результате слияния черных дыр (выразить в энергиях покоя Солнца);
7. максимальную мощность излучения гравитационных волн, согласно формуле:

$$N = \frac{32 G^4 (\mathfrak{M}_1 \mathfrak{M}_2)^2 (\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)}{5 c^5 r^5}, \quad (6)$$

8. расстояние ( $\Delta$ ) до источника, если безразмерная амплитуда (указанная на рис. 5, как strain) волны представляется выражением

$$h = \frac{1}{\Delta} \frac{G^2 \mathfrak{M}_1 \mathfrak{M}_2}{c^4 r}. \quad (7)$$

(15 баллов).

