

САМАРСКИЙ ДВОРЕЦ ДЕТСКОГО И ЮНОШЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА  
САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА



---

---

УСЛОВИЯ КОНКУРСНЫХ ЗАДАЧ  
ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ SAMRAS-2014  
СРЕДИ УЧАЩИХСЯ 10-11 КЛАССОВ  
ЗАОЧНОГО ТУРА № 2

---

---

*Задачи подготовил:*

**Филиппов Юрий Петрович,**  
научный руководитель школы,  
старший преподаватель кафедры  
общей и теоретической физики  
Самарского государственного  
университета, к.ф.-м.н.

Самара, 2014 г.

## Уровень «Новичок» (уровень А)

### Задача № 1. «Фотография Солнца, полученная на обсерватории "Жигули"»

**Условие.** В период с 8 по 14 августа 2013 года на обсерватории ДООЦ «Жигули» Бахтиновым П.И. при участии Гришина К.А. были проведены наблюдения Солнца, в частности, была получена фотография (см. рис. 1) части видимого диска Солнца. Какие активные образования атмосферы Солнца отчетливо различимы на этой фотографии? Какова физическая причина их возникновения? В какой структурной зоне Солнца они расположены? (3 балла).



Рис. 1.

### Задача № 2. «О протяженности г. Самара вдоль круга широты»

**Условие.** Как известно, протяженность г. Самара вдоль круга широты составляет 20 км. На сколько отличается географические долготы самой восточной и самой западной точки города? На сколько отличаются моменты наступления верхней кульминации Солнца для наблюдателей в этих точках. В расчетах следует полагать, что Земля есть шар радиуса  $R_{\oplus} = 6371$  км, широта г. Самара –  $\varphi_S = 53^{\circ}12'$ . (3 балла).

### Задача № 3. «Продолжительность меркурианских суток»

**Условие.** Как известно, год на Меркурии длится  $P = 88.0$  суток, а период обращения вокруг своей оси составляет  $T = 58.7$  суток (направления обоих вращений совпадают). Найдите продолжительность меркурианских суток. (3 балла).

### Задача № 4. «Млечный путь, тусклые звезды и галактики»

**Условие.** При наблюдении Млечного Пути и его окрестностей легко обнаружить уникальную закономерность: на единичной площадке небосвода, в области Млечного пути можно разглядеть большое количество тусклых звезд и минимальное количество тусклых галактик. Вдали от Млечного пути – ситуация противоположная. Как Вы можете объяснить данную закономерность? (4 балла).

**Задача № 5. «Электрон и протон – основные "кирпичики" Вселенной»**

**Условие.** Как известно протон (масса –  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$  кг, электрический заряд –  $q_p = 1.60 \cdot 10^{-19}$  Кл) и электрон (масса –  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$  кг, электрический заряд –  $q_e = -1.60 \cdot 10^{-19}$  Кл) являются основными строительными "кирпичиками", из которых состоит доминирующая часть видимого вещества Вселенной. Оцените, во сколько раз сила взаимодействия этих частиц посредством электрического поля больше их силы взаимодействия, обусловленного гравитационным полем. Небесные тела состоят из огромного числа протонов и электронов. Почему при описании их движения мы учитываем лишь силы взаимного тяготения, пренебрегая силой электрического взаимодействия? (4 балла).

**Задача № 6. «Положение центра масс Солнечной системы»**

**Условие.** Определите, внутри или вне Солнца находится центр масс Солнечной системы, пренебрегая массами всех планет, кроме Юпитера. Масса Солнца  $M_\odot = 1048 \cdot M_J$ , где  $M_J$  – масса Юпитера. Известно, что диаметр Солнца в 107 раз меньше расстояния от Земли до Солнца, а расстояние от Юпитера до Солнца составляет  $a_J = 5.2$  а.е (5 баллов).

**Уровень «Знаток» (уровень В)****Задача № 7. «Сколько звезд, видимых невооруженным глазом, над горизонтом?»**

**Условие.** Как известно, математический горизонт делит небесную сферу на две равных полусферы. Полагая, что общее число звезд, видимых на небе обеих полусфер, равно  $N$  (при наблюдении невооруженным глазом  $N = 6000$ ), и что звезды распределены по небосводу равномерно, определите количество звезд, которые мы видим над горизонтом и количество звезд, находящихся под горизонтом. (6 баллов).

**Задача № 8. «Прохождение спутника над г. Самара»**

**Условие.** Искусственный спутник Земли, находящийся на низкой околоземной орбите, пролетел над Самарой ( $\varphi_S = 53^\circ 12'$  с.ш.,  $\lambda = 50^\circ 06'$  в.д.). Над каким городом или над какой местностью (приблизительно) он пролетит (см. рис. 2) через один оборот вокруг Земли? (7 баллов).

**Задача № 9. «Разрешающая способность человеческого глаза и орбита планеты X»**

**Условие.** Как известно, разрешающая способность здорового человеческого глаза составляет порядка  $1'$ . Каков радиус круговой орбиты и период обращения воображаемого небесного тела (назовем его *планета X*), движущегося вокруг Солнца, с поверхности которого космонавт еще мог бы разрешить диск Солнца (т.е. увидеть Солнце как неточечный объект)? К орбите какой классической планеты ближе прочих расположена орбита данного тела? С поверхности каких классических и карликовых планет Солнце видно как неточечный объект? Радиус Солнца составляет  $R_\odot = 6.961 \cdot 10^8$  м. (8 баллов).

**Задача № 10. «Утренняя пробежка космонавтов будущего по астероиду»**

**Условие.** Предположим, что космонавты будущего, путешествуя по поясу астероидов, решили совершить пробежку (с такой же скоростью, как на Земле) по поверхности одного из таких тел. Характерная плотность пород, слагающих астероиды, составляет  $\rho_a = 3.5$  г/см<sup>3</sup>. Какие размеры могут иметь астероиды, пригодные для такой пробежки, чтобы космонавты не смогли "упасть" в космос? (8 баллов).

**Задача № 11. «Кварар – один из крупнейших объектов пояса Койпера»**

**Условие.** В 2002 году группой американских астрофизиков был открыт транснептуновый объект Кварар (Quaoar), являющийся одним из крупнейших объектов в поясе Койпера. На момент открытия данное тело находилось в созвездии Змееносца и имело видимый блеск  $18.5^m$ . Согласно астрометрическим данным большая полуось Кварара составляет  $a_Q = 43.405$  а.е. Как долго данный объект перемещается по созвездию Змееносца, если Солнцу для этого требуется около 20 суток? Телескоп с объективом какого минимального диаметра необходим для а) визуальных наблюдений данного объекта, б) для разрешения его диска (при условии его видимости

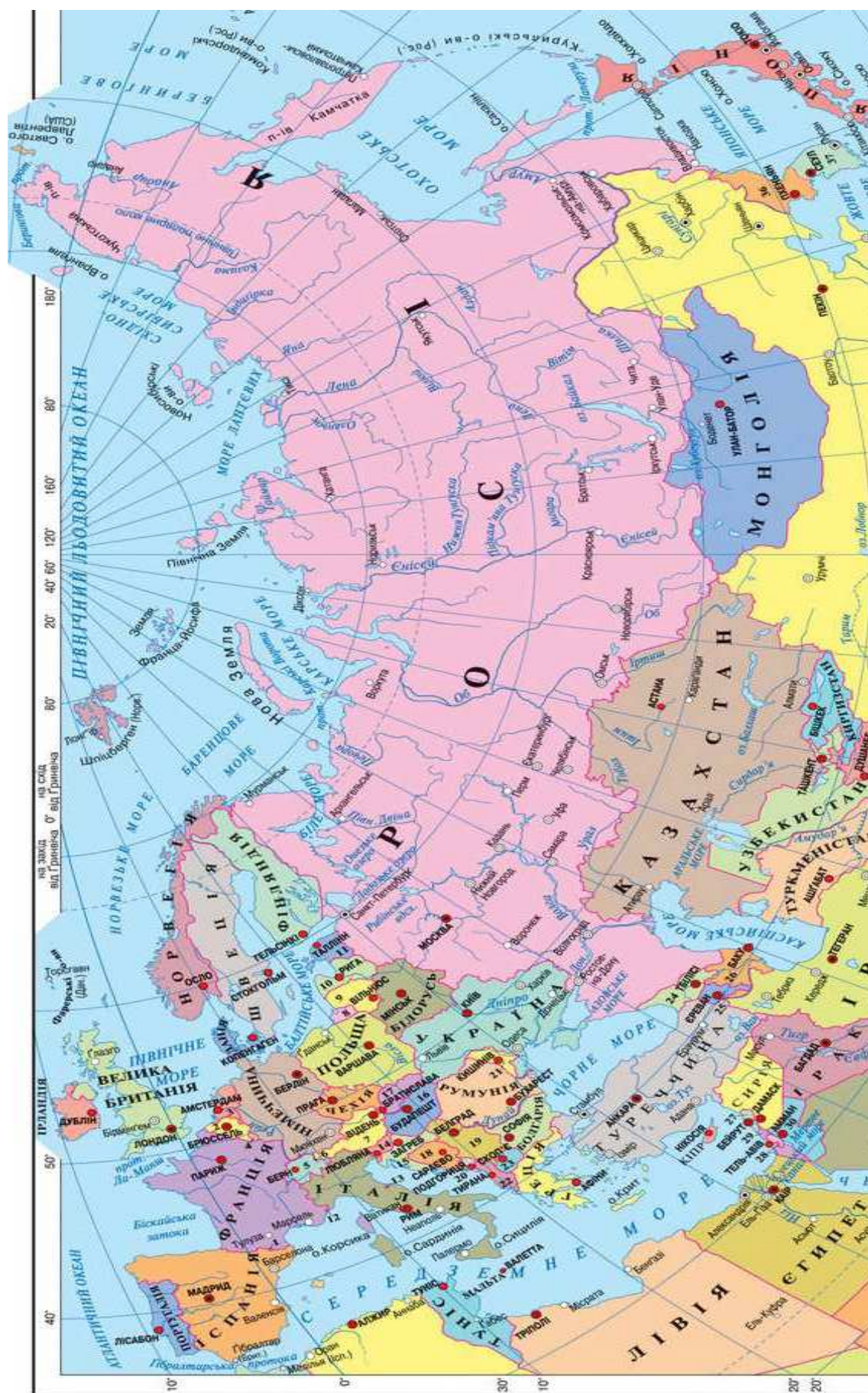


Рис. 2. Политическая карта части Евразии (источник: <http://ukrmap.su/ru-g7/842.html>).

в телескоп) в случае, когда объект подойдет на минимальное расстояние, если диаметр Кварара

оценивается в 1074 км, а эксцентриситет  $\varepsilon_Q = 0.039$ ? (9 баллов).

### Задача № 12. «Размеры и плотность самой легкой и массивной черной дыры»

**Условие.** В 2003 году в двойной системе IGR J17091, находящейся в созвездии Скорпиона, астрофизики зафиксировали яркую рентгеновскую вспышку. Последующие исследования этой системы показали, что она состоит из "нормальной" звезды и черной дыры (ЧД), масса которой оказалась близкой к минимально возможной массе ЧД звездного типа ( $\mathcal{M}_{BH}^{(min)} = 3 \mathcal{M}_{\odot}$ ). Эта ЧД имеет минимальную массу, среди всех черных дыр, обнаруженных косвенными методами на данный момент. В конце 2012 года с использованием телескопа имени Хаббла ученые обнаружили в галактике NGC 1277 сверхмассивную ЧД с самой большой массой из известных сегодня ( $\mathcal{M}_{BH}^{(max)} = 2 \cdot 10^{10} \mathcal{M}_{\odot}$ ). С использованием данных, полученных исследователями, определите интервалы возможных значений для радиуса и массовой плотности черных дыр, наблюдаемых сегодня (в предположении, что все промежуточные значения массы ЧД допустимы). Во сколько раз отличаются данные параметры для самой легкой и самой массивной ЧД? (10 баллов).

## Уровень «Профи» (уровень С)

### Задача № 13. «Фотография лунных кратеров»

**Условие.** В период с 8 по 14 августа 2013 года на обсерватории ДООЦ «Жигули» Бахтиным П.И. и Гришиным К.А. были проведены наблюдения Луны, в частности, была получена фотография (см. рис. 3) части ее поверхности. Используя данную фотографию и данные о Луне, оцените линейный и угловой диаметры (для земного наблюдателя) трех кратеров  $K_1 - K_3$ . (11 баллов).

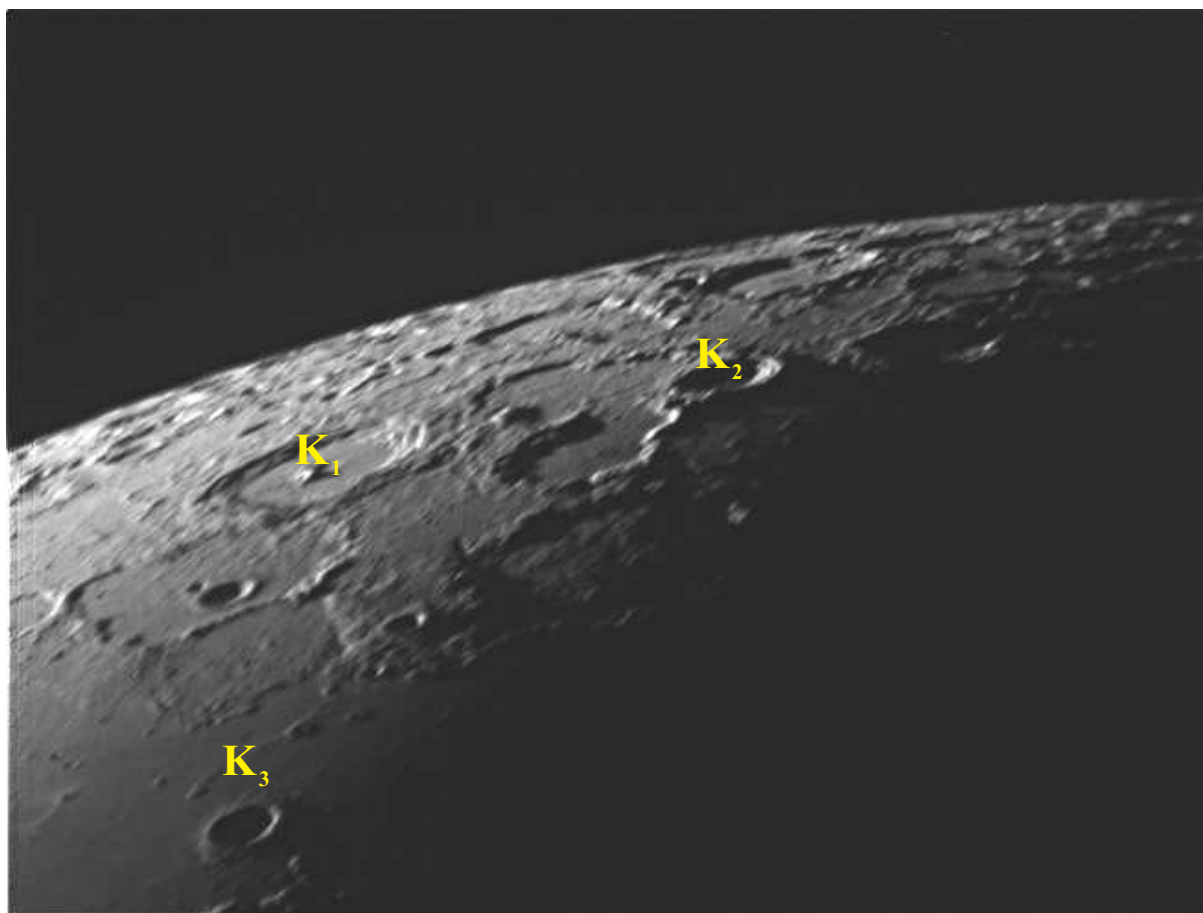


Рис. 3.

### Задача № 14. «Траектория МКС в ЦУПе и высота ее орбиты»

**Условие.** На большом экране в Центре управления полетами (ЦУП) отображается траектория Международной космической станции (МКС) – след от пересечения поверхности Земли прямой, проведенной от центра Земли к станции (см. рис. 4). Станция движется по круговой

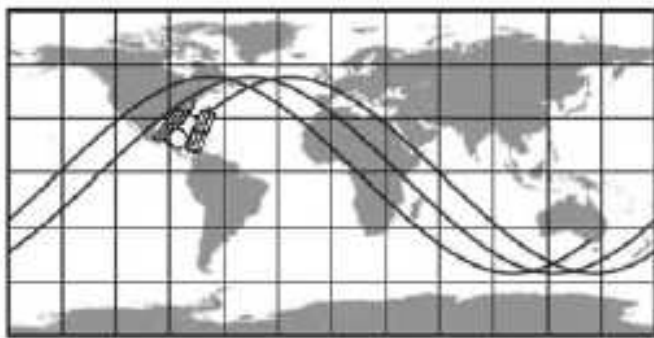


Рис. 4.

орбите. Оцените с помощью данного рисунка высоту  $h$  космической станции над поверхностью Земли. Считайте, что радиус Земли равен  $R_{\oplus} = 6371$  км, ускорение свободного падения на поверхности Земли  $g_0 = 9.81$  м/с<sup>2</sup>. (12 баллов).

### Задача № 15. «Кометная гипотеза происхождения колец Сатурна»

**Условие.** Согласно современным представлениям, *кольца Сатурна* – система плоских концентрических образований (скоплений) льда и пыли, располагающаяся в экваториальной плоскости Сатурна. Исследования колец показали, что последние состоят, главным образом, из водяного льда (около 99%) с примесями силикатной пыли. Внутренняя граница колец лежит на расстоянии  $6.7 \cdot 10^4$  км от центра планеты, а внешняя –  $1.368 \cdot 10^5$  км (при этом радиус Сатурна –  $R_{\text{С}} = 6.027 \cdot 10^4$  км, а средняя массовая плотность –  $\bar{\rho}_{\text{С}} = 687$  кг/м<sup>3</sup>). При этом толщина колец чрезвычайно мала – от 10 м до 1 км. Общая масса обломочного материала колец оценивается в  $3 \cdot 10^{19}$  кг. Возраст колец не более 100 млн. лет. Одна из гипотез происхождения колец гласит – в прошлом Сатурн захватил своим полем тяготения и разрушил приливными силами пролетающую мимо комету гигантских размеров. Опираясь на представления о плотности комет и о полости Роша, допуская существование гигантских комет и предполагая, что разрушение произошло в пределах области, занимаемой сегодня кольцами, докажите что такой сценарий в принципе возможен. Оцените минимальные возможные размеры этой гигантской кометы. (13 баллов).

### Задача № 16. «Давление в центре Земли»

**Условие.** Некоторая планета представляет собой однородный шар массы  $M$  и радиуса  $R$ . Найти давление вещества  $p$  внутри планеты, обусловленное гравитационным сжатием, как функцию расстояния  $r$  от ее центра. Определите давление  $p_c$  в центре планеты. С использованием полученного результата, оцените параметр  $p_c$  для Земли. (13 баллов).

### Задача № 17. «Давление света и критический радиус пылевой частицы»

**Условие.** Из многочисленных наблюдений за движением хвостов комет, установлено, что в движении пылевых частиц, составляющих эти хвосты, существенную роль играет давление солнечного света (точнее сказать, давление электромагнитного излучения Солнца). Чем меньше размер частиц, тем большую роль играет данный фактор в ее движении. Опираясь на квантовые представления о свете и моделируя пылевую частицу абсолютно черным шаром радиуса  $R_p$ , определите явное выражение для силы давления  $F_p$  света. Докажите, что для этой силы справедлива зависимость вида  $F_p \sim R_p^2$ . Оцените критический радиус пылевой частицы с массовой плотностью  $\rho_p = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, при котором сила давления становится больше силы притяжения Солнца и как следствие, частица покидает Солнечную систему. (14 баллов).

### Задача № 18. «Испарение ЧД Хокинга и минимальная масса реликтовой ЧД»

**Условие.** В 1974 году известный теоретик-астрофизик С. Хокинг, изучая поведение квантовых полей в окрестности черной дыры (ЧД), впервые обосновал существование квантового процесса испускания разнообразных элементарных частиц, преимущественно фотонов, черной дырой, получившего название *излучение (испарение) Хокинга*. Суть явления в следующем: гравитационное поле поляризует вакуум, в результате чего возможно образование не только виртуальных, но и реальных пар частица-античастица. Одна из частиц, оказавшаяся чуть ниже горизонта событий, падает внутрь черной дыры, а другая, оказавшаяся чуть выше горизонта, улетает, унося энергию (то есть часть массы) ЧД. *Благодаря данному процессу ЧД непрерывно теряет массу и время ее жизни оказывается конечным*. Мощность излучения черной дыры

равна

$$P = \frac{\hbar c^6}{15360 \pi G^2 \mathfrak{M}_{BH}^2}, \quad (1)$$

здесь и далее  $\hbar = 1.055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка,  $G = 6.673 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup> – гравитационная постоянная,  $\mathfrak{M}_{BH}$  – масса черной дыры. Спектр хокинговского излучения оказался строго совпадающим с излучением абсолютно черного тела, что позволило приписать ЧД температуру:

$$T_{BH} = \frac{\hbar c^3}{8 \pi k G \mathfrak{M}_{BH}}, \quad (2)$$

где  $k = 1.381 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана. С использованием данных результатов определите закон изменения массы ЧД с течением времени ( $\mathfrak{M}_{BH}(t)$ ). Определите выражение для времени жизни черной дыры ( $\tau_{\text{life}}$ ). С использованием полученного результата и формулы (2) вычислите время жизни и температуру ЧД с массой  $\mathfrak{M}_{BH} = \mathfrak{M}_{\odot}$ . Определите минимальную массу реликтовой ЧД (т.е. сохранившейся со времен Большого взрыва), ее радиус, среднюю плотность и температуру, если известно, что возраст Вселенной составляет 13.83 млрд. лет. (15 баллов).