

**Ключи к заданиям муниципального этапа  
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии  
2023-2024 учебного года  
11 класс**

**Задача 1: Клац-клац (3 балла)**

Назовите одно из 88 современных созвездий, в котором находятся звезды с арабскими названиями Зубен эль Шемали (буквально «северная клешня») и Зубен эль Генуби («южная клешня»).

**Решение:** хоть немного знающий созвездия ученик наверняка вспомнит небесных членистоногих, обладающих клешнями — **Рака** и **Скорпиона**. Однако, правильный ответ — **Весы**. Как так получилось?

Первоначально Альфа и Бета Весов входили в состав Скорпиона. Как самостоятельное созвездие в античной традиции Весы оформились достаточно поздно, около II века до н. э. Впрочем, упоминания о них встречаются и раньше, например, Арат Солийский пишет о созвездии в поэме «Явления и предсказания» (III век до н. э.). Однако даже в I веке до нашей эры Вергилий предлагал создать на этом месте новое созвездие, посвящённое императору Августу, урезав созвездие Скорпион.

В период оформления созвездия как самостоятельного для него использовалось название «Клешни»: подразумевались клешни созвездия Скорпион. В указанный период соответствующая группа звёзд трактовалась иногда как астеризм, иногда — как созвездие. В частности, в «Альмагесте» Птолемея созвездие описано как отдельное созвездие «Клешни». При этом для соответствующего знака зодиака применялось название «Весы», вероятно, имевшее малоазиатское происхождение. Это название становится общеупотребительным в отношении созвездия примерно в I веке до н. э.

По мнению некоторых авторов, вначале созвездие представляло алтарь; затем его изображали как алтарь, лампу, но обычно как весы, зажатые в клешнях Скорпиона или с клешнями Скорпиона, лежащими на чашах весов; позже клешни «отпустили добычу» и укоротились. До сих пор звёзды  $\alpha$  и  $\beta$  Весов называют Южной и Северной Клешнями.

**Критерии:** правильный ответ ("созвездие Весы", или просто "Весы") оценивается в 3 балла; ответ "Скорпион" — в 2 балла, ответ "Рак" — в 1 балл. Любое другое созвездие оценивается в 0 баллов. В случае называния сразу нескольких созвездий в ответе, ставится наименьшая из оценок: например, ответ "или скорпион, или рак" оценивается в 1 балл.

**Задача 2: Неопределенность? (3 балла)**

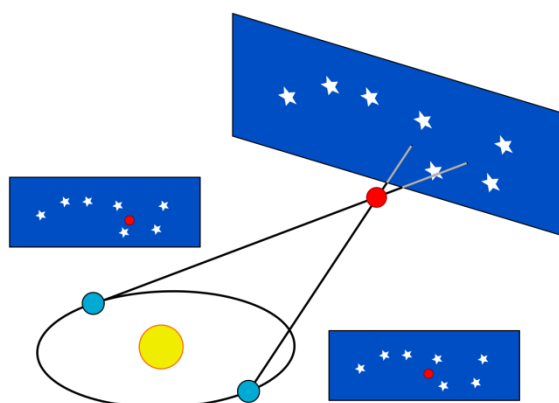
Годичный звездный параллакс ближайшей к Солнцу звезды составляет 0,77 угловых секунд. Назовите величину годичного параллакса ближайшей к Земле звезды.

**Решение:** годичный параллакс возникает из-за орбитального движения Земли: видимая во время разных времен года звезда перемещается на фоне

далеких звезд (см. рисунок). Полуамплитуда этого перемещения и называется годичным параллаксом.

Ближайшая к Земле звезда, как странно, Солнце. Оно тоже перемещается на фоне далеких звёзд, амплитуда этого перемещения максимальна — полный оборот (или градусов). То есть, формально, годичный параллакс Солнца составит 180 градусов, или половину оборота.

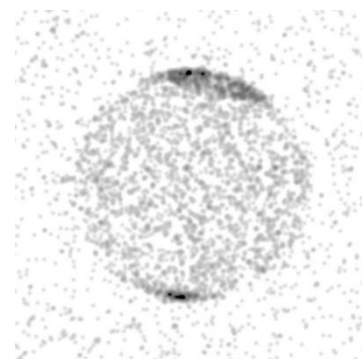
**Критерии:** правильный ответ ("180", "180 градусов", или "половина оборота") оценивается в 3 балла, ответ 360 градусов оценивается в 2 балла, 90 градусов - в 1 балл, все остальные значения оцениваются в 0 баллов. В случае нескольких ответов ставится минимальный балл из одиночных (например, при ответе "или 90, или 180" ставится 1 балл).



### Задача 3: Невидимый Зевс (3 балла)

На изображении справа приведен снимок Юпитера в одном из электромагнитных диапазонов. Назовите этот диапазон.

**Решение:** Это фото с телескопа Chandra, принимающего электромагнитные волны в **рентгеновском** диапазоне. Об этом может подсказать "точечный" характер изображения: принимаются скорее частицы, а не поток излучения, а это характерно для электромагнитного излучения высоких энергий. Также, на изображении четко видны две плотных шапки — это приполярные области Юпитера, вернее даже области возле его магнитных полюсов. Вблизи них величина магнитного поля Юпитера максимальна, из-за чего заряженные частицы разгоняются до высоких скоростей, сталкиваются друг с другом и с атмосферой, тормозятся и вызывают потоки вторичных частиц и излучения. Излучение не гамма диапазона — заметно в гамма-лучах светятся только самые яркие источники во Вселенной: пульсары, остатки сверхновых звёзд, активные ядра галактик и др.



**Критерии:** правильный ответ (рентген, или X-лучи) оценивается в 3 балла, ответ "гамма-диапазон" или "гамма" оценивается в 2 балла, ответ "ультрафиолет" - в 1 балл, все остальные ответы оцениваются в 0 баллов. В случае нескольких ответов ставится минимальный балл из одиночных (например, при ответе "или рентген, или гамма" ставится 2 балла).

#### Задача 4: Вижу далеко (3 балла)

Из параметров телескопа, приведенных ниже, определите те, которые непосредственно **не** влияют на проникающую силу телескопа:

1. Размер главного зеркала телескопа
2. Материал трубы телескопа
3. Увеличение телескопа
4. Тип монтировки телескопа
5. Размер поля зрения телескопа

**Решение:** проникающая сила телескопа — это предельная звёздная величина самого тусклого объекта, который в принципе может наблюдаться в этот телескоп. Непосредственно определить её можно по формуле

$$m = 5,5 + 2,5 \log_{10}(D \times \Gamma),$$

где  $D$  — диаметр апертуры телескопа в сантиметрах,  $\Gamma$  — увеличение телескопа. Из этого сразу можно сделать вывод, что варианты 1 и 3 не подходят.

Подходят все остальные — 2, 4 и 5. В самом деле, ни материал трубы телескопа, ни тип монтировки не влияют существенно на количество света, собираемое телескопом, а размер поля зрения, хоть и связанный с увеличением, не влияет на проникающую силу непосредственно.

**Критерии:** каждый правильно выбранный вариант (2, 4 и 5) приносит один балл. Каждый неправильно выбранный вариант приносит минус один балл, суммарное количество баллов при этом не может быть меньше нуля баллов (то есть ответ "1,2,5" принесет 0 баллов, а не -1 балл).

#### Задача 5: Мираж (3 балла)

Из приведенных ниже выберите факторы, из-за влияния которых геоцентрические и гелиоцентрические координаты светила **не** будут отличаться:

1. Суточный параллакс
2. Годичная абберация
3. Суточная абберация
4. Годичный параллакс
5. Широта места наблюдения

**Решение:** геоцентрические координаты — это координаты, приведенные к центру Земли. Так как центр Земли не вращается в суточном движении, никакие суточные эффекты и эффекты положения наблюдателя не влияют ни на геоцентрические, ни на гелиоцентрические координаты. А годичный параллакс и абберация — уже эффекты орбитального движения, поправка на которые позволяет перейти от геоцентрических к гелиоцентрическим координатам. Поэтому ответ 135.

**Критерии:** каждый правильно выбранный вариант (1, 3 и 5) приносит один балл. Каждый неправильно выбранный вариант приносит минус один балл, суммарное количество баллов при этом не может быть меньше нуля баллов (то есть, например, ответ "1,2,4" принесет 0 баллов, а не -1 балл)

#### Задача 6: Свободное падение (3 балла)

Искусственный спутник Земли свободно падает без начальной скорости в плотные слои атмосферы с высоты 300 км. Для каждой из физических величин

ниже укажите, она увеличивается (А), остается постоянной (Б) или уменьшается (В):

1. Полная механическая энергия спутника
2. Потенциальная энергия спутника в поле тяготения Земли
3. Кинетическая энергия спутника
4. Скорость спутника
5. Внутренняя энергия спутника

**Решение:** Исходно, спутник обладал только потенциальной энергией в поле тяготения Земли, которая была равна полной механической энергии. После начала движения потенциальная энергия стала уменьшаться, затрачиваясь на кинетическую энергию спутника (увеличивая и её, и скорость) и увеличение внутренней энергии из-за трения об плотные слои атмосферы. Полная механическая энергия тоже стала уменьшаться из-за диссипации. Правильный ответ: 1В2В3А4А5А.

**Критерии:** 3 балла ставится за полностью правильный ответ в виде пар цифра-буква (1В2В3А4А5А) или просто последовательности букв (ВВААА). Если правильно сопоставлены 4 или 3 буквы из пяти, такой ответ оценивается в 2 балла, если 2 или 1 буква из пяти правильны — в один балл. При отсутствии правильно сопоставленных букв ставится 0 баллов.

### **Задача 7: Uno momento (4 балла)**

Выберите из событий снизу самую длинную комбинацию событий, которые могут наблюдаться в один момент времени (но, возможно, разными наблюдателями на поверхности Земли):

1. Новолуние
2. Истинный солнечный полдень
3. Июньское солнцестояние
4. Великое противостояние Марса
5. Прохождение Венеры по диску Солнца
6. Полное лунное затмение

**Решение:** сначала определимся с событиями, которые точно не могут происходить в один момент времени, даже для разных наблюдателей. Это, во-первых, вариант 1 и 6 (для полного лунного затмения необходима фаза полнолуния, для всех землян фаза Луны одинакова), во-вторых варианты 4 и 5 (великое противостояние Марса может происходить только с июля по сентябрь, а прохождение Венеры по диску Солнца — только в июне или декабре), в третьих 3 и 4 (по причинам, описанным выше, великое противостояние не происходит в июне). Поэтому, самая длинная цепочка будет из четырех событий, либо 1235, либо 2356.

**Критерии:** 4 балла за задачу даётся за одну или две из правильных цепочек ("1235", "2356" "1235 или 2356"). В случае, если указывается только кусок из этих цепочек длиной в три события, ставится 3 балла (123, или 235, или 356). За указание куска из правильно цепочки длиной в 2 события ставится 2 балла, за исключением цепочек 16, 45 или 34 — за них ставится 0 баллов. Цепочки длиной в 5 событий оцениваются в 1 балл, цепочки длиной в 6 событий оцениваются в 0

баллов. Порядок чисел, указанных в ответе, не важен — 1235 и 5231 считаются одинаковыми ответами и оцениваются одинаково.

4 балла	3 балла	2 балла	1 балл	0 баллов
1235	123	12	12345	123456
2356	235	13	23456	16, 45 или 34
1235 или 2356	356	46	12346	
		23...	13456...	

### Задача 8: Как раз (4 балла)

По данным температуре поверхностных слоев и размерам, расположите звезды в порядке увеличения расстояния от них до зоны обитаемости вокруг:

1. Солнце (5800 К, 1 солнечный радиус)
2. Бетельгейзе (3600 К, 780 радиусов Солнца)
3. Сириус В (25 200 К, 1% радиуса Солнца)
4. Проксима Центавра (3040 К, 15% радиуса Солнца)
5. УY Щита (3360 К, 1710 радиусов Солнца)
6. R136a1 (53 000 К, 36 радиусов Солнца)

**Решение:** зона обитаемости (зона Златовласки) — пространство вокруг звезды, в котором возможно существование жидкой воды. Она пропорциональна полной излучательной мощности звезды, а та, в свою очередь, зависит от квадрата радиуса и четвертой степени температуры. Соответственно, мы можем посчитать светимости звёзд в светимостях Солнца и отсортировать их по возрастанию светимости:

- Солнце, желтый карлик: 1 светимость Солнца, как ни странно;
- Бетельгейзе, красный сверхгигант:  $(3600/5800)^4 \times 780^2 = 90\,300$  светимостей Солнца;
- Сириус В, белый карлик:  $(25200/5800)^4 \times 0,01^2 = 3,5\%$  светимости Солнца;
- Проксима Центавра, красный карлик:  $(3040/5800)^4 \times 0,15^2 = 0,2\%$  светимости Солнца;
- УY Щита, красный сверхгигант, самый большой из известных:  $(3360/5800)^4 \times 1710^2 = 330\,000$  светимостей Солнца;
- R136a1, звезда типа Вольфа-Райе, самая массивная и яркая из известных:  $(53000/5800)^4 \times 36^2 = 9$  миллионов светимостей Солнца.

После сортировки получаем следующую последовательность чисел: 431256.

**Критерии:** 4 балла ставится за правильную последовательность "431256". В случае иной цепочки, считается количество совпадающих последовательных пар, присутствующих в цепочке (это 43, 31, 12, 25 и 56), наличие каждой из которых оценивается в 1 балл. Так, например, цепочка 431265 оценивается в 3 балла, потому что в ней присутствует три пары: 43, 31 и 12, но нет 25 и 56. Порядок чисел в паре важен, однако, цепочка 652134 оценивается в 3 балла — скорее всего, её решили корректно, но невнимательно прочли условия задачи и отсортировали звезды в порядке убывания светимости.

### Задача 9: Плотность (4 балла)

Расположите следующие объекты в порядке уменьшения средней плотности:

1. Сатурн
2. Солнечное ядро
3. Земля
4. Межпланетная среда
5. Верхние слои атмосферы Земли
6. Углеродистый астероид

**Решение:** из всех объектов, самое плотное, разумеется, солнечное ядро: под колоссальной массой Солнца вещество сжимается в среднем до  $150 \text{ кг/см}^3$ .

Земля, рекордсмен среди планет солнечной системы по средней плотности —  $5,5 \text{ г/см}^3$ .

Углеродистые астероиды — самый распространенный вид астероидов и самый рыхлый, имеет характерную плотность около  $1,5 \text{ г/см}^3$ .

Газовый гигант Сатурн, как известно, имеет среднюю плотность меньше плотности воды ( $0,7 \text{ г/см}^3$ );

Верхние слои атмосферы точно меньше Сатурна по плотности — даже вблизи поверхности Земли плотность атмосферы немногим превышает  $1 \text{ мг/см}^3$ .

Но наибольшую разреженность, очевидно, имеет межпланетная среда, лишенная каких-либо плотных объектов. Её характерная плотность — десятки йоктограмм ( $10^{-24}$  грамм) на кубический сантиметр.

Получается, правильным ответом будет последовательность 236154.

**Критерии:** 4 балла ставится за правильную последовательность "236154". В случае иной цепочки, считается количество совпадающих последовательных пар, присутствующих в цепочке (это 23, 36, 61, 15 и 54), наличие каждой из которых оценивается в 1 балл. Так, например, цепочка 236145 оценивается в 3 балла, потому что в ней присутствует три пары: 23, 36 и 61, но нет 15 и 54. Порядок чисел в паре важен, однако, цепочка 451632 оценивается в 3 балла — скорее всего, её решили корректно, но невнимательно прочли условия задачи и отсортировали объекты в порядке возрастания плотности.

### Задача 10: Перестаю дышать (6 баллов)

MOXIE (Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment) установлен на марсоходе «Персеверанс». Это первый проводимый на Марсе эксперимент по получению ресурсов для пилотируемых экспедиций. Прибор всасывает марсианский воздух через фильтр, сжимает при помощи спирального насоса и нагревает до 800 градусов Цельсия, после чего направляет в электролизную ячейку с твердым оксидом, где углекислый газ разлагается на ионы кислорода и угарного газа. После этого ионы кислорода направляются к аноду, где превращаются в молекулярный кислород, а смесь остальных газов выбрасывается в атмосферу.

Эксперимент начался в апреле 2021 года. За два с половиной года прибор работал 18 часов и сгенерировал 122 грамма молекулярного кислорода, затраты по мощности составляли примерно 300 Вт.

Допустим, что такие приборы можно массово производить прямо на Марсе. Если считать, что человеку для комфортного дыхания нужно примерно 180 мг кислорода в минуту, сколько энергии (в джоулях) этим приборам потребуется затратить, чтобы:

- 1) Обеспечить малую группу из 10 колонистов кислородом для дыхания на год?
- 2) Обеспечить колонию из 1000 человек кислородом для дыхания на 50 лет?
- 3) Преобразовать 20% из  $2,5 \times 10^{16}$  кг марсианской атмосферы в кислород?

Решение: задача состоит из трёх вопросов.

Каждую секунду прибор генерирует  $122\,000 / (18 \times 3\,600) = 2$  мг молекулярного кислорода. Обеспечить одного человека он не сможет, потому что человеку требуется  $180 / 60 = 3$  мг кислорода в секунду. То есть на одного человека нужно минимум два таких прибора.

Можно посчитать число приборов, нужных для 10 людей, и затем умножить количество на 300 Вт и на число секунд в году. Однако, мы пойдем немного другим путём — посчитаем, сколько джоулей нужно прибору, чтобы сгенерировать 1 мг кислорода.  $300 \text{ Вт} = 300 \text{ Дж/с}$ . Поделим эту величину на 2 мг/с и получим  $150 \text{ Дж/мг}$ , или  $150 \text{ МДж/кг}$ . Теперь можно считать:

- 1) 10 человек за 1 год потребляют  $10 \times 0,000003 \times 3600 \times 24 \times 365 = 946,08$  кг кислорода, на это потребуется  $150 \text{ МДж/кг} \times 946,08 \text{ кг} = 1,42 \times 10^{11} \text{ Дж} = 142 \text{ ГДж}$ ;
- 2) 1000 человек за 50 лет потребляют  $1000 \times 0,000003 \times 3600 \times 24 \times 365 \times 50 = 4,7$  миллионов кг кислорода, на это потребуется  $150 \text{ МДж/кг} \times 4,7 \times 10^9 \text{ кг} = 7,05 \times 10^{14} \text{ Дж} = 705 \text{ ТДж}$ ;
- 3)  $150 \text{ МДж/кг} \times 0,5 \times 10^{16} \text{ кг} = 7,5 \times 10^{23} \text{ Дж} = 750 \text{ ЗДж}$ .

Для сравнения: суммарное конечное (полезное) потребление электроэнергии во всем мире (179 стран) за 2020 год составило 22,4 ПВт·ч, или 80,6 эксаджоулей ( $8,06 \times 10^{19} \text{ Дж}$ ).

**Критерии:** решение разбивается на несколько этапов.

- 1) Подсчет скорости генерации кислорода (2 мг кислорода в секунду) с точностью до 1 мг/с; — 1 балл;
- 2) Оценка количества энергии на колонию из 10 человек на 1 год с точностью до порядка ( $10^{11} \text{ Дж}$ ) — 2 балла. В случае неправильно выполненного

этапа 1, но с корректным расчетом 2 этапа с новым значением, за этап выставляется 1 балл;

3) Оценка количества энергии на колонию из 1000 человек на 50 лет с точностью до порядка ( $10^{14}$  Дж) — 2 балла. В случае неправильно выполненного этапа 1, но с корректным расчетом 2 этапа с новым значением, за этап выставляется 1 балл;

4) Оценка количества энергии на преобразование атмосферы с точностью до порядка ( $10^{23}$  Дж) — 1 балл.

Суммарно — не больше 6 баллов.

### Задача 11: Маловато будет (6 баллов)

Группа астрономов во главе с Митчем МакНанна из Висконсинского университета в Мадисоне сообщила об открытии нового кандидата в карликовые галактики у карликовой магеллановой спиральной галактики NGC 55, сделанного в ходе систематического широкомасштабного поиска карликовых галактик путем анализа данных наблюдений наземного обзора неба DES (Dark Energy Survey) за шесть лет.

Найденная галактика получила обозначение NGC 55-dw1 и обладает эллиптической формой, ее эффективный радиус оценивается в 2,2 кпк, а физическое расстояние до NGC 55 — в 30 кпк.

Абсолютная звездная величина NGC 55-dw1 составляет  $M_{V\_Gal} = -8$ , что делает ее галактикой с одним из самых низких известных значений поверхностной яркости. Считая, что NGC 55-dw1 состоит только из звезд солнечного типа (а для них  $M_{V\_Sun} = 4,8$ ), оцените их количество.

**Решение:** суммарная освещенность в полосе V, создаваемая галактикой, складывается из освещенностей составляющей её звезд.

Абсолютные звездные величины приводятся к одинаковому расстоянию в 10 пк, поэтому освещенности будут зависеть только от количества тел и их светимости.

Поэтому, используя формулу Погсона в любой из этих форм:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log_{10} \frac{E_1}{E_2} = -\log_{2,512} \frac{E_1}{E_2},$$

$$\log_{10} \frac{E_1}{E_2} = -0,4(m_1 - m_2),$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{-(m_1 - m_2)},$$

где  $m_1 = M_{V\_Sun}$ ,  $m_2 = M_{V\_Gal}$ , а  $E_2 = NE_1$ , можно получить, что

$$\log_{10} N = 0,4(M_{V\_Sun} - M_{V\_Gal}) = 5,12,$$

то есть  $N = 130$  тысяч звезд.

**Критерии:** 1) приведена формула Погсона в любой из форм выше — 2 балла, приведена с ошибкой — 1 балл, не приведена вообще — 0 баллов;



2) Имеется утверждение "суммарная освещенность от галактики равна числу звезд умноженному на освещенность от Солнца" — 2 балла, вывод не написан, но использован в формуле — 1 балл, утверждения нет совсем ни в выводе, ни в формуле — 0 баллов.

3) Оценено число звезд с точностью до 10 тысяч — 2 балла, точность меньше — 1 балл, не приведено оценки числа звезд совсем — 0 баллов.

4) Суммарно максимум 6 баллов.

*Возможная ошибка:* использовать формулу связи видимой и абсолютной звездных величин через расстояние. Она здесь не нужна и не идет ни в какой критерий.

### Задача 12: Keep rollin' (6 баллов)

В книге «Вечная жизнь Смерти» китайского фантаста Лю Цысиня описываются космические убежища — станции-города, спрятанные в тени газовых гигантов, способные пережить взрыв Солнца. Один из таких городов имеет форму тонкостенного цилиндра. Вращение вокруг оси симметрии с постоянной скоростью позволяет людям, живущим на внутренней боковой поверхности станции, ощущать комфортное тяготение типа земного. Станция приводится во вращение работой 512 термоядерных двигателей, расположенных симметрично относительно оси вращения: 256 двигателей по периметру верхней крышки цилиндра, столько же — по периметру нижней.

Рассчитайте, за какое время станцию можно привести из невращающегося состояния в состояние вращения с нужной скоростью, если каждый двигатель развивает тягу  $10^7$  Н. Какова средняя мощность одного двигателя при такой раскрутке?

Убежище-цилиндр имеет одинаковые диаметр основания и высоту, равные 8 км. Толщина стенок составляет 10 м, средняя плотность оболочки  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Момент инерции убежища равен  $5/6$  от произведения её полной массы на квадрат радиуса вращения.

#### Решение:

Для оценки времени раскручивания необходимо воспользоваться основной формулой динамики вращательного движения:

$$\frac{dL}{dt} = M = F \cdot R = 2,048 \times 10^{13} \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $L$  — момент импульса станции,  $M$  — суммарный момент сил, действующих на станцию,  $F = 512 \times 10^7$  Н — модуль этих сил,  $R=4$  км — радиус вращения. Так как момент сил постоянный, время раскрутки  $t$  можно оценить следующим образом:

$$t = \frac{L}{M} = \frac{I\omega}{M},$$

где  $I$  — момент инерции станции, а  $\omega$  — угловая скорость вращения станции.

Оценим сначала  $\omega$ . Центробежное ускорение для людей, находящихся внутри станции, должно быть равно ускорению свободного падения  $g$ . Тогда справедливо будет следующее выражение:

$$g = \frac{v^2}{R}, v = \sqrt{gR} \approx 200 \text{ м/с},$$

где  $v$  — линейная скорость вращения, а  $R=4$  км — радиус вращения так как угловая скорость вращения  $\omega$  связана с линейной  $v$  как:

$$v = \omega R, \omega = \frac{v}{R} = 0,05 \text{ рад/с}.$$

Из условия задачи, момент инерции станции считается следующим образом:

$$I = \frac{5}{6} mR^2,$$

где  $m$  — полная масса убежища. Так как толщина стенок  $\Delta w=10$  м по сравнению с размерами цилиндра мала, можно оценить полный объем оболочки и массу, используя полную площадь поверхности  $S$ :

$$m = \rho V \approx \rho S \Delta w,$$

$S$  состоит из двух крышек и боковой поверхности:

$$S = 2 \times \pi R^2 + 2\pi R \times 2R = 6\pi R^2,$$

$$m = 6\pi \rho R^2 \Delta w = 4,5 \times 10^{12} \text{ кг},$$

тогда момент инерции

$$I = 6 \times 10^{19} \text{ м}^2 \cdot \text{кг/с},$$

и время раскрутки, следовательно

$$t = \frac{6 \times 10^{19} \times 0,05}{2,048 \times 10^{13}} = 40,7 \text{ часов}.$$

Несмотря на колоссальную тягу и количество двигателей, такую станцию нужно будет раскручивать почти двое суток.

Среднюю мощность  $N$  одного двигателя можно оценить двумя способами.

Первый использует выражение через среднюю за всё время скорость движения  $v'=v/2$ :

$$N = \frac{Fv}{2} = 10^7 \text{ Н} \times 200 \text{ м/с} \times 0,5 = 1 \text{ ГВт}$$

Второй способ заключается в оценке полной энергии вращения  $E$ , получаемую исходя из работы двигателей, как

$$E = \frac{I\omega^2}{2} = 7,5 \times 10^{16} \text{ Дж},$$

и поделим её на общее число двигателей и время раскрутки:

$$N = \frac{E}{512t} = 1 \text{ ГВт}.$$

Для сравнения, крупнейшая в мире китайская ГЭС "Три ущелья", являющейся крупнейшим по массе сооружением мира (более 65,5 млн т), вырабатывает 22,5 ГВт.

**Критерии:**

- 1) Правильно рассчитана угловая скорость вращения станции — 1 балл;
  - 2) Правильно оценена масса и момент инерции станции — 1 балл;
  - 3) Приведена формула для полного момента импульса через момент инерции и угловую скорость— 1 балл;
  - 4) Приведена основная формула динамики вращательного движения, связывающая моменты действующих сил и изменение момента импульса и/или непосредственно выраженная из неё формула для расчёта времени раскрутки — 2 балла;
  - 5) Приведена оценка средней мощности одного двигателя с точностью 0,5 ГВт через значение энергии или средней скорости — 1 балл.
- Суммарно 6 баллов.