



7-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ ОЛИМПИАДА  
Абуджа, Нигерия, 2 – 11 декабря 2010 г.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

**6 декабря 2010 г.**

**Абуджа, Нигерия**

### **Внимательно прочитайте следующую инструкцию:**

1. На выполнение задания отводится три (3) часа.
2. В задании три задачи. Убедитесь, что вам выдали полный комплект теоретических задач и листов для ответов.
3. Используйте только выданную вам ручку.
4. Напишите латинскими буквами свои имя и фамилию, код участника, страну и поставьте подпись на первом листе ответов. Напишите свою фамилию и код на всех остальных листах ответов.
5. Внимательно прочитайте условия каждой из задач и запишите ваши результаты на листы для ответов.
6. Участникам олимпиады запрещается приносить с собой какое-либо оборудование. После окончания тура все листы с условиями задач и листы ответов должны остаться аккуратно сложенными на вашем столе.
7. Правила оценивания: в соответствии с баллами, указанными в заданиях.



## Правила проведения теоретического тура

1. Все участники олимпиады должны прибыть к комнате для проведения теоретического тура не позднее, чем за 10 минут до его начала.
2. Участникам олимпиады запрещается приносить с собой что-либо, кроме личных медикаментов или другого личного медицинского оборудования.
3. Каждый из участников олимпиады занимает предназначенное для него место.
4. Перед началом тура каждый участник олимпиады должен убедиться, что на столе лежат ручка, линейка, калькулятор, которыми его обеспечивают организаторы.
5. Каждый участник олимпиады должен проверить количество листов с заданиями и листов для ответов. Если вы не обнаружили какого-то листа, поднимите руку. Тур начинается по звонку.
6. В ходе испытания участнику олимпиады запрещается покидать помещение, за исключением чрезвычайных ситуаций. Если последнее происходит, то покидать комнату можно только в сопровождении дежурного.
7. Участникам олимпиады не разрешается беспокоить других участников и нарушать ход работы над заданием. В случае если ему необходима помощь, участник может поднять руку и ближайший дежурный придет на помощь.
8. Не допускается никаких вопросов или дискуссий по заданиям. Участник олимпиады должен оставаться за своим столом до окончания времени, отведенного на тур, даже если он закончил работу раньше или не хочет ее продолжать.
9. По окончании времени, отведенного на тур, прозвучит звонок. Участникам олимпиады не разрешается писать что-либо на листах ответов после окончания тура. Все участники олимпиады должны тихо покинуть комнату. Листы с заданиями и ответами должны быть аккуратно сложены на своем столе.

## Задача 1: Солнечное излучение

Известно, что ископаемые источники энергии исчерпаемы. Поэтому предпринимаются попытки обнаружить и использовать альтернативные источники энергии. К ним относятся солнечная энергия, энергия ветра, ядерная энергия, энергия, извлекаемая из биомассы и другие.

Солнце, являющееся источником излучения, это сфера из сильно разогретого газа с эффективной температурой около 5800 К, соответствующей температуре абсолютно черного тела. Диаметр Солнца примерно равен  $1,40 \cdot 10^9$  м, а расстояние от Земли до Солнца  $1,5 \cdot 10^{11}$  м. Температура Солнечного ядра находится между  $8 \cdot 10^6$  К и  $40 \cdot 10^6$  К, а его плотность примерно в сто раз больше, чем у воды. Солнце – это постоянно действующий термоядерный реактор, в котором происходят многочисленные реакции термоядерного синтеза. Реакция термоядерного синтеза, считающаяся наиболее эффективной, – это процесс, в котором четыре ядра атома водорода сливаются, образуя ядро гелия. Масса ядра гелия меньше суммарной массы ядер водорода, и этот дефект массы в реакции выделяется в виде энергии. Выделившаяся энергия определяется уравнением  $E = mc^2$ , где  $m$  – соответствующая масса, а  $c$  – скорость света. Эта энергия распространяется от источника, которым она была излучена, до поверхности Земли. Достигающее поверхности Земли излучение имеет две составляющие – прямую и рассеянную.

Нигерия находится в тропиках, где солнечная энергия находится в избытке. Поэтому, она может служить столь необходимым альтернативным источником энергии для домашних и промышленных потребителей. Пока имеющихся данных по солнечному излучению недостаточно для его использования в масштабах страны, поэтому проводятся многочисленные измерения потока солнечного излучения. Они привели к созданию моделей для предсказания количества солнечной радиации в различных районах страны.

В эксперименте по определению уровня солнечного излучения в Абудже (Нигерия) использовался фоторезистор из сульфида кадмия (CdS). Когда солнечное излучение попадает на фоторезистор, его сопротивление уменьшается. Подбором сопротивлений в мостике Уитстона было измерено сопротивление фоторезистора. Полученные результаты приведены в Таблице 1.

**Таблица 1**

Сопротивление R (Ом)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интенсивность излучения, S (Вт·м <sup>-2</sup> )	3777	1513	886	606	451	355	290	243	208	180

Сопротивление фоторезистора из CdS подчиняется уравнению

$$SR^\alpha = \beta, \quad (1)$$

где  $R$  – фотосопротивление в Омах, измеренное с помощью мостика Уитстона,  $S$  – интенсивность солнечного излучения в Вт·м<sup>-2</sup>, а  $\alpha$  и  $\beta$  – некоторые постоянные.

### Постоянные

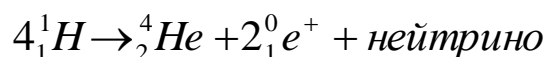
$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$\text{Постоянная Планка } h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

### Задания

- (1.1) Процесс термоядерного синтеза описывается уравнением



Зная массу атома водорода  ${}_1^1\text{H} = 1,00794$  а.е.м., массу атома гелия  ${}_2^4\text{He} = 4,002602$  а.е.м. и пренебрегая массами позитронов и нейтрино, вычислите дефект масс в килограммах (кг) и энергию в Джоулях (Дж), выделяющуюся в реакции термоядерного синтеза. **(0.7 балла)**

Излучение Солнца, подобно излучению абсолютно черного тела, описывается уравнением  $P = A\sigma T^4$ , где  $P$  – мощность излучения,  $A$  – площадь поверхности черного тела,  $T$  – абсолютная температура черного тела, а  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана.

- (1.2) Солнечная постоянная – это количество энергии солнечного излучения на единицу площади в единицу времени в плоскости, перпендикулярной лучам, сразу перед входом лучей в атмосферу. Предполагая, что постоянная Стефана-Больцмана  $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ , определите величину солнечной постоянной. **(1.5 балла)**
- (1.3) Какое примерно время (в минутах) требуется излучению, чтобы добраться от Солнца до атмосферы Земли? **(0.4 балла)**
- (1.4) Предполагая энергию фотона солнечного излучения равной  $3,87 \cdot 10^{-19}$  Дж, определите длину волны излучения. **(0.5 балла)**
- (1.5) Перепишите уравнение (1) в логарифмической форме, которая позволит определить постоянные  $\alpha$  и  $\beta$  из графика  $\log_{10} S$  от  $\log_{10} R$ . **(0.4 балла)**
- (1.6) Используйте уравнение, полученное в пункте (1.5), и данные из Таблицы 1 для построения линейного графика. **(4.5 балла)**
- (1.7) Напишите уравнение построенного графика. **(1.0 балл)**
- (1.8) Определите значения постоянных  $\alpha$  и  $\beta$ . **(1.0 балл)**

## Задача 2: Применение серной кислоты в отраслях промышленности

Потребление серной кислоты обычно является показателем промышленного развития страны, из-за её широкого применения в большом количестве технологических операций. Это – очень агрессивная, плотная, маслянистая жидкость, от бесцветного до темно-коричневого цвета, в зависимости от её чистоты. Её промышленное производство возможно с помощью одного из двух технологических процессов: контактного или нитрозного методов. В контактном методе оксид серы (IV) преобразуется в оксид серы (VI) в присутствии оксида ванадия (V) с примесью оксида молибдена при  $450^{\circ}\text{C}$  и давлении 1-2 атмосферы. Оксид серы (IV) окисляется до оксида серы (VI) оксидом ванадия (V). В реакции оксид ванадия (V) восстанавливается до оксида ванадия (III), а затем вновь окисляется.

Это хороший пример превращений катализатора в ходе реакции. В отсутствие оксида ванадия (V), как катализатора, реакция протекает очень медленно. Оксид серы (VI) преобразуется в олеум ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  – серная кислота и оксид серы (VI)) растворением в серной кислоте. Окисление оксида серы (IV) в оксид серы (VI) в контактном методе является экзотермической реакцией.

Концентрированная серная кислота очень гигроскопична и иногда используется в качестве водоотнимающего средства. Она реагирует с сахарозой, при этом образуется хрупкая губчатая черная масса углерода. Кислота реагирует таким же образом с тканью кожи, целлюлозой, тканями растений и животных. Серная кислота образуется в естественных условиях в шахтах при окислении сульфидных минералов, таких, как сульфид железа (II) ( $\text{FeS}$ ). Образующийся при этом водный раствор имеет кислую реакцию и способен разрушать металлические руды. Образующийся окрашенный раствор токсичен.

При сгорании сульфидных минералов в различных видах ископаемого топлива образуется оксид серы (IV), который попадает в атмосферу Земли. Оксид серы (IV) может окисляться до оксида серы (VI) под действием солнечной радиации, а затем превращаться в серную кислоту во время конденсации (дождь).

В нитрозном методе окисление оксида серы (IV) происходит при действии азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) в присутствии водяного пара.

### Вопросы

2.1. Выберите две основные причины (A – F), по которым получение концентрированной серной кислоты путём растворения  $\text{SO}_3$  непосредственно в воде является экономически нецелесообразным? (0,4 балла)

Вариант	Причина
A	Уменьшение опасности утечки
B	Плотность продуктов слишком велика
C	Минимизация расходов при транспортировке больших объёмов
D	Дороговизна последней стадии процесса
E	Большой тепловой эффект последней стадии процесса
F	Аэрозоль серной кислоты быстро заполняет помещение

2.2. Выберите процессы, которые происходят с участием серной кислоты в областях промышленности, указанных ниже:

- |       |                                 |                     |
|-------|---------------------------------|---------------------|
| (i)   | Гальванопокрытие железа и стали | <b>(0.25 балла)</b> |
| (ii)  | Производство удобрений          | <b>(0.25 балла)</b> |
| (iii) | Производство моющих средств     | <b>(0.25 балла)</b> |
| (iv)  | Автомобильная промышленность    | <b>(0.25 балла)</b> |

Вариант	Процесс
A	Серная кислота растворяет железо и сталь
B	Растворение фосфатных пород
C	Изготовление свинцово-кислотных аккумуляторов
D	Очистка металлических поверхностей путём растворения оксидных слоёв
E	Образование функциональных групп $SO_3^-$ в соединениях

2.3. Напишите уравнения четырех основных реакций, происходящих при использовании контактного метода. Расставьте коэффициенты. **(2.0 балла)**

2.4. Выберите одну причину из А – С, по которой оксид ванадия (V) оказывается пригодным для использования его в качестве катализатора при контактном способе. **(0.25 балла)**

- A. Оксид ванадия (V) забирает электроны у  $SO_2$  и вновь окисляется кислородом.  
 B. Оксид ванадия (V) отдаёт электроны  $SO_2$  и уменьшает свою степень окисления до ионов ванадия (III).  
 C. Оксид ванадия (V) реагирует с кислородом, образуя комплекс, который является восстановителем.

2.5. Используйте соответствующие уравнения электронного баланса, чтобы показать восстановление и окисление ионов ванадия. **(1.0 балл)**

2.6. Если контактный способ эффективен на 80 %, вычислите массу 98% серной кислоты, произведённой из 100 кг чистой серы. Эффективность превращения серы в оксид серы (IV) примите равной 100%. ( $A_r(S) = 32,0$ ;  $A_r(H) = 1,0$ ;  $A_r(O) = 16,0$ ; плотность 98% серной кислоты  $1,98 \text{ г/см}^3$ ). **(1.0 балл)**

2.7. Напишите уравнение для реакции избытка поваренной соли с концентрированной серной кислотой. Расставьте коэффициенты. **(0.5 балла)**

2.8. Напишите уравнение, представляющее собой обезвоживание сахарозы концентрированной серной кислотой. Расставьте коэффициенты. Формула сахарозы -  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . **(0.5 балла)**

2.9. Серная кислота является двухосновной кислотой. Напишите уравнения, чтобы показать её диссоциацию в воде. **(0.5 балла)**

2.10. Определите объём газа, образующегося в первой стадии контактного метода, когда 200 г серы превращается в оксид серы (IV) при  $300^\circ\text{C}$  и давлении 1 атмосфера. (Процент превращения составляет 100%)  $R=0,082 \text{ л}\cdot\text{атм}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$  **(1.25 балла)**



- 2.11. Какой объём раствора 0,2 моль/л серной кислоты необходим для полной нейтрализации 25 см<sup>3</sup> раствора 16,0 г гидроксида натрия в 0,25 л воды? ( $A_r(\text{Na})=23,0$ ,  $A_r(\text{S})=32,0$ )  
**(1.0 балл)**
- 2.12. Из списка, представленного ниже, выберите три (3) вида топлива, которое больше всего способствует образованию кислотных дождей.  
**(0.60 балла)**
- а) Дрова, (b) нефть, (c) уголь, (d) биотопливо на основе растительных масел, (e) биоэтанол, (f) природный газ.

### Задание 3. Экология животных

В экологических исследованиях для оценки абсолютного размера популяции проще всего использовать метод «мечения-отлова» по Педерсену. Суть его состоит в следующем: в течение короткого времени какое-то число исследуемых животных отлавливают, метят и отпускают, а затем проводят еще один отлов и подсчитывают в нем количество меченых. Чтобы метод был показательным, второй отлов должен проводиться случайно, то есть все особи должны иметь равные шансы быть пойманными, вне зависимости от того, помечены они или нет. Результатом подсчетов будут:

$M$  = Число особей, помеченных при первом отлове.

$C$  = Общее число особей во втором отлове.

$R$  = Число меченых особей во втором отлове.

Используя эти три параметра, можно оценить численность популяции ( $N$ ) на момент мечения по формуле:

$$N = \frac{MC}{R}$$

Формула предполагает, что при втором отлове каждое животное было посчитано только один раз.

Сом (*Clarias gariepinus*) – рыба, встречающаяся во многих водоемах Нигерии, и его мясо служит источником животных белков для многих горожан. Группа нигерийских студентов провела экологические исследования в маленьком озере (размером приблизительно 100 м на 60 м), рассчитывая оценить численность популяции сома (*Clarias* sp.) в этом озере перед предполагаемым хозяйственным отловом. Они поместили 109 сомов и через несколько дней, при вторичном отлове, поймали 177 этих рыб, 120 из которых не были помечены.

#### 3.1. Заполните таблицу

(0,5 балла)

Количество пойманных и помеченных в первом вылове ( $M$ )	Общее число пойманных во втором вылове ( $C$ )	Количество меченых особей во втором вылове ( $R$ )

#### 3.2. Какова численность популяции сома в озере? (Приведите свои расчеты) (1,0 балл)

##### 3.2.1. Какая (какие) из приведенных причин может (могут) повлиять на шансы меченого животного попасть во второй отлов? (0,5 балла)

	Причина:	Да, может	Нет, не может
1.	Процедура мечения делает животное привлекательным для хищников.		
2.	Общее число хищников увеличилось.		
3.	Процесс мечения вызывает отравление/повреждение животного.		
4.	В среде попало токсическое химическое вещество.		



**3.3.** В Нигерии живут несколько видов дождевых червей, которые часто используются как наживка при ловле рыбы. Несколько нигерийских студентов-экологов, отправляясь на рыбалку, собирали дождевых червей на огороженном школьном дворе.

Когда дождевые черви зарываются в грунт, они, по сути дела, проедают себе путь. Почва, пропущенная через пищеварительный тракт червя, откладывается на поверхности земли в виде небольших кучек экскрементов. Эта деятельность дождевых червей играет важную роль в повышении плодородия почвы.

Обследуя кучки, оставленные дождевыми червями на школьном дворе, студенты решили, что эти кучки распределены по территории случайным образом.

Для проверки своего предположения, они сделали квадратную рамку и, случайным образом размещая ее на различных участках двора, считали количество кучек внутри рамки. После 100 измерений они получили следующие результаты:

Количество кучек (x)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Число квадратов (частота, f)	17	20	28	18	8	8	0	0	1	100

Если бы распределение кучек было **случайным**, то отношение **дисперсия/среднее значение**  $\left(\frac{s^2}{\bar{x}}\right)$  должно было бы быть равно 1.

**3.3.1.** Посчитайте среднее число  $\bar{x}$  кучек на квадрат. **(1.0 балл)**

**3.3.2.** Посчитайте дисперсию  $s^2$  и определите отношение дисперсия/среднее значение.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad \text{(1.0 балл)}$$

**3.3.3.** Из ответа на вопрос 3.3.2 следует, что верным будет следующее утверждение:

**(0.5 балла)**

Вариант	Отношение дисперсия/среднее $\left(\frac{s^2}{\bar{x}}\right)$	Утверждение	Поставьте $\checkmark$ в соответствующую клетку
I	0.8 – 1.2	Распределение можно считать случайным	
II	>1.2 или <0.8	Распределение нельзя назвать случайным	

**3.4.** Исследуем многообразие живых организмов в некоторой области. Нигерия – одна из африканских стран с наиболее разнообразным растительным и животным миром. В частности, на территории Нигерии обнаружено более 10 видов дождевых червей, причем их многообразие меняется от одной природной зоны к другой. Для оценки многообразия живых организмов, а какой-то территории используется индекс биоразнообразия, рассчитываемый по формуле:

$$d = \frac{N(N-1)}{\sum_{i=1}^n n_i(n_i-1)}$$

где  $N$  – общее число организмов всех видов,  $n$  – число видов,  $n_i$  – число организмов конкретного вида, и  $\sum$  - знак суммы по всем  $i$  от 1 до  $n$ .

Нигерийские студенты собрали 50 дождевых червей на территории улитковой фермы и, рассортировав их, посчитали число особей разных видов. Результаты подсчетов отражены в таблице:

3.4.1 Заполните последний столбец таблицы: (1,2 балл)

Вид червя	Кол-во собранных	$n(n-1)$
<i>Eudrilus eugeniae</i>	10	
<i>Hyperiodrilus africanus</i>	15	
<i>Lybodrillus violaceus</i>	16	
<i>Alma millsoni</i>	9	
Всего (N)	50	
		$\sum_{i=1}^n =$

3.4.2. Определите индекс биоразнообразия для дождевых червей на территории фермы. (1,0 балл)

3.4.3 Когда дождевые черви проедают себе путь в почве, они оставляют за собой каналы, по которым в почву проникает воздух, проникает кислород.

Следующие вопросы касаются роли, которую играет кислород в почве.

Ответьте, верно или ошибочно каждое из следующих утверждений, поставив X в соответствующей клеточке таблицы. (0,8 балл)

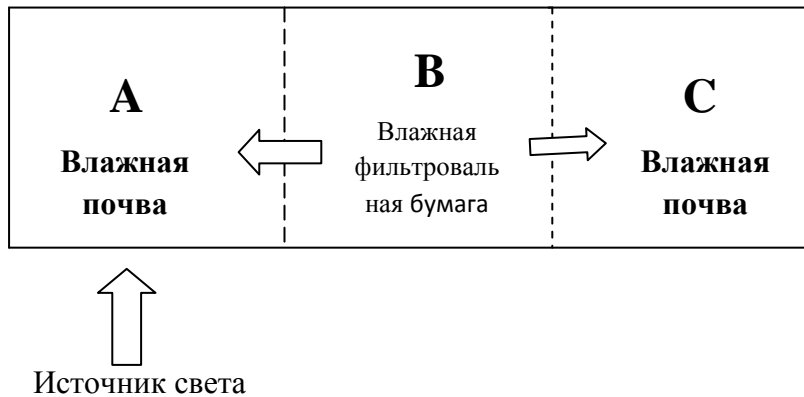
	Да	Нет
a) корни растений не всасывают кислород из почвы, поскольку они получают его из листьев		
b) дождевые черви используют кислород почвы		
c) бактерии, превращающие аммиак, произведенный животными, в нитраты, нуждаются в кислороде почвы		
d) для разрушения органических веществ необходим кислород почвы		

3.4.4 В экскрементах дождевых червей содержатся различные химические элементы. Растениям нужны различные химические элементы. Какой из элементов, содержащихся в экскрементах, нужнее всего растениям, и они потребляют его с помощью своих корней? (0,5 балла)

Выберите один из следующих элементов: O, C, N, H.

**3.5.** Нигерийский ученый провел эксперимент для изучения влияния света на активность червей *Hyperiodrilus* sp., облучая их светом с различными длинами волн и подсчитывая массу образующихся за неделю экскрементов. Эксперимент продолжался в течение 3 недель. Экспериментальная установка состояла из освещаемой и неосвещаемой части, как показано на рисунке. Восемьдесят дождевых червей помещались в центральное отделение (В) установки, содержащее влажную фильтровальную бумагу. Средняя масса экскрементов в отделениях А и С измерялась, и результаты заносились в таблицу:

**Экспериментальная установка**



Результаты эксперимента представлены в таблице:

Цвет	Число облученных <i>Hyperiodrilus</i> sp.	Среднее масса (г) экскрементов в освещаемом отсеке (А)	Среднее масса (г) экскрементов в темном отсеке (С)
Белый	80	4,8	19,5
Зеленый	80	9,4	30,4
Красный	80	11,9	16,1
Синий	80	10,6	30,5
Темнота	80	7,2	0,5

**3.5.1.** Представьте данные таблицы в соответствующей графической форме. **(1,5 балла)**

**3.5.2.** Какое (какие) заключение (заключения) можно сделать, исходя из полученного изображения? **(0,5 балла)**

- (i) Самое большое количество экскрементов образуется при освещении красным светом, а самое маленькое – в темной области.
- (ii) Поведенческий ответ червей на облучение не зависит от длины волны облучающего света.
- (iii) *Hyperiodrilus* sp. не понимает разницы между длинами волн облучающего света.
- (iv) Зеленый свет вызывает появление наибольшего количества экскрементов в темной части установки.