



*Теоретический тур, 4<sup>я</sup> IJSO, Тайпей, Тайвань, 6 декабря 2007 г.*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР**

**6 декабря 2007 г.**

### **Внимательно прочитайте следующие инструкции:**

1. На выполнение задания отводится три (3) часа.
2. В заданиях три раздела. Убедитесь, что вам выдали полный комплект заданий 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 каждое задание и запишите ваши результаты на листы для ответов.
6. Участникам олимпиады запрещается приносить с собой какое-либо оборудование. После окончания тура все листы с вопросами и ответами 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 начала тура.
2. Участникам олимпиады запрещается приносить с собой что-либо, кроме личных медикаментов или другого личного медицинского оборудования.
3. Каждый из участников олимпиады занимает место, обозначенное табличкой с его именем.
4. Перед началом тура каждый участник олимпиады должен проверить наличие ручки, линейки, калькулятора, которыми его обеспечивают организаторы.
5. Каждый участник олимпиады должен проверить количество листов с задачами 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 случаев сигнала тревоги. 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.



## Задание I Силы вязкого трения

Когда объект движется сквозь жидкость или газ, в дополнение к архимедовой силе возникает также сила сопротивления  $F_D$ . Известно, что при небольших скоростях движения объектов  $F_D$  пропорциональна скорости  $v$  объекта относительно среды и линейному размеру  $R$  объекта (в случае сферического объекта  $R$  — радиус сферы), т.е. можно записать  $F_D = CvR$ , где  $C$  — константа, зависящая от свойств потока и геометрии объекта. Используя этот факт и предполагая все встречающиеся ниже скорости малыми, ответьте на следующие вопросы.

### I-1 (1 балл)

Выразите единицу измерения  $C$  через кг, с, м (единицы СИ).

### I-2 (1,5 балла)

Рассмотрим частицу пыли радиусом  $R = 3,0 \cdot 10^{-6}$  м, падающую в воздухе при  $20^\circ\text{C}$ . Численное значение  $C$  для этой частицы в воздухе при  $20^\circ\text{C}$  равно  $3,4 \cdot 10^{-4}$  (в единицах СИ). Плотность частицы  $\rho = 2,0 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воздуха  $\rho_v = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>. Предположим, что частица может падать бесконечно долго. Падающая частица вскоре начинает двигаться с постоянной скоростью, которую называют установившейся. Полагая, что ускорение свободного падения  $g$  постоянно и равно  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>, а плотность воздуха равна  $1,2$  кг/м<sup>3</sup>, найдите установившуюся скорость этой частицы.

### I-3 (1 балл)

На рис. **I-1** схематично показана центрифуга — аппарат, используемый для решения разнообразных задач в биологических и медицинских лабораториях, в котором образцы подвергаются быстрому вращению. Образцы часто представляют собой водные растворы биомолекул. Как пример рассмотрим образец, представляющий собой раствор белка (плотность  $1,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) в воде (плотность  $1,0 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>). Примем, что центростремительное ускорение постоянно и равно  $10^5 g$ . На рис. **I-2** показано, как распределение белка меняется со временем, а на рис. **I-3** показана зависимость  $h$  от времени ( $h$  — смещение границы заполненной белком области). Найдите установившуюся скорость молекулы белка вблизи границы.

### I-4 (2,5 балла)

Изобразите на рисунке все горизонтальные силы (диаграмму сил), действующие на молекулу белка вблизи границы и определите массу молекулы белка в единицах а.е.м. ( $1$  а.е.м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг), предполагая, что каждая молекула белка может быть представлена сферой радиусом  $R = 2,5 \cdot 10^{-6}$  м и численное значение постоянной  $C$  для этого белка в воде равно  $4,0 \cdot 10^{-5}$  (в единицах СИ).

### I-5

Полный заряд молекулы белка зависит от pH среды, в которой она находится. Эта зависимость показана на рис. **I-4**. Изоэлектрической точкой (Ит) называется значение pH, при котором полный заряд молекулы белка равен нулю. Рассмотрим три белка, обозначаемых D, E и F, с массой молекул 60000 а.е.м., 88000 а.е.м., 160000 а.е.м. и изоэлектрическими точками 5,2, 6,7 и 9,2 соответственно. Предположим, что наклоны графиков зависимостей величины pH от заряда для этих белков одинаковы. Как схематично показано на рис. **I-5**, капля, содержащая D, E, F и нейтральные частицы (обозначенные N) введена в центр капиллярной трубки, содержащей раствор с pH = 8,3. На правом и левом концах трубки расположены электроды, к которым приложены электрические потенциалы равной величины, но противоположных знаков. Оказалось, что сразу после приложения потенциалов, капля и раствор движутся с постоянными скоростями (раствор течёт из-за взаимодействия со стенками). Кроме того, через время  $t_0$  капля разделилась на 4 части, обозначенные 1, 2, 3 и 4, как показано на рис. **I-5**. Пройденные этими



частями расстояния обозначим соответственно  $d_i$ , где  $i$  принимает значения 1, 2, 3 или 4. Следует пренебречь влиянием диффузии, краевыми эффектами и взаимодействием молекул белка с нейтральными частицами. Предполагая, что для всех этих белков константа  $C$  имеет одинаковое значение, а сами они представляют собой шарики с одной и той же плотностью, ответьте на следующие вопросы.

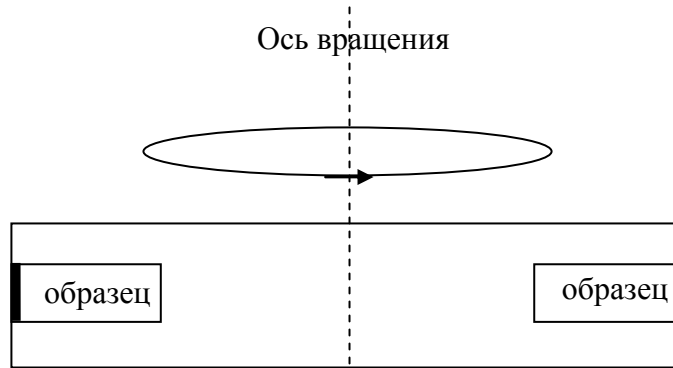


Рис. I-1

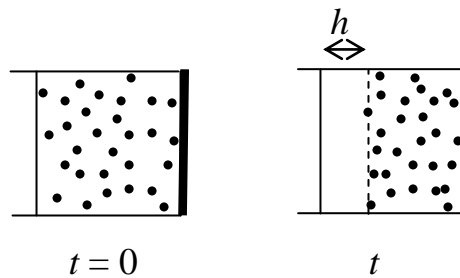


Рис. I-2

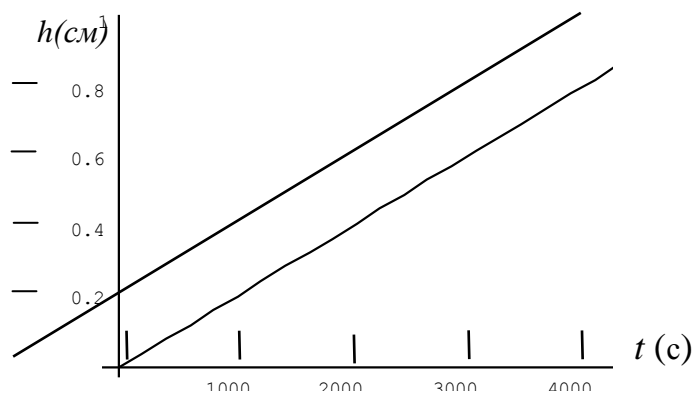


Рис. I-3

**I-5A (1,2 балла)**

Пусть заряды молекул белков D, E, F в растворе равны  $Q_D$ ,  $Q_E$ ,  $Q_F$  соответственно. Упорядочите  $Q_D$ ,  $Q_E$ ,  $Q_F$  и 0 (нулевой заряд) по их величине.

**I-5B (2 балла)**

Каким цифрам на рисунке I-5 соответствуют части D, E, F и N.



**I-5C (0,8 балла)**

Выразите среднюю скорость течения раствора через  $t_0$  и  $d_i$ .

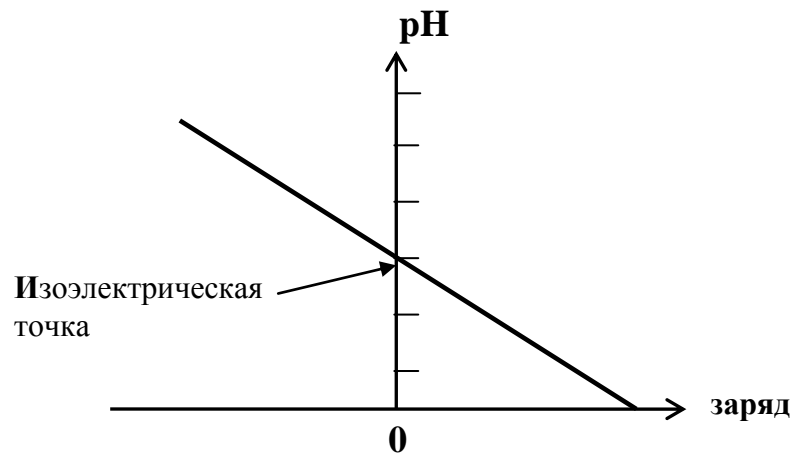


Рис. I-4

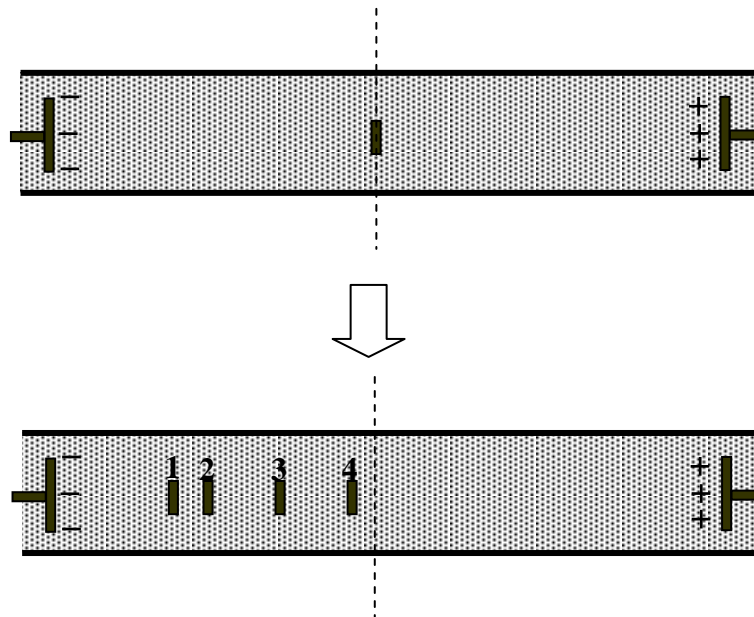


Рис. I-5



## Задание II Химия углекислого газа

Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) участвует в важнейших биологических и экологических процессах. Он поглощается при фотосинтезе и в результате образуются глюкоза ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) и кислород ( $\text{O}_{2(\text{r})}$ ). Энергия, необходимая для образования 1 моль глюкозы, составляет 2800 кДж. Установлено, что среднее значение массы  $\text{CO}_2$ , поглощаемого при фотосинтезе, составляет 370 г на каждый квадратный метр поверхности Земли в год. Все атомы углерода переходят в состав глюкозы.

Углекислый газ также является конечным продуктом окисления всех видов топлива на основе углерода; увеличение его содержания в атмосфере является причиной глобального потепления.

Конечными продуктами расщепления глюкозы являются  $\text{CO}_{2(\text{r})}$  и  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . Теплота, выделяющаяся в этом процессе, преобразуется в полезную работу с эффективностью приблизительно 70%. Углекислый газ, образующийся в процессе расщепления, выделяется из организма человека при дыхании. Парциальное давление  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе составляет 30,0 мм рт. ст. (1 мм рт. ст. = 133,3 Па) при температуре 37°C. Простой анализ на содержание  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе заключается в том, что пропускание его через известковую воду (насыщенный раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) вызывает помутнение раствора. В кислородных масках часто используется свойство  $\text{CO}_2$  взаимодействовать с надпероксидом калия ( $\text{KO}_2$ ) с образованием  $\text{O}_2$ .

Используя вышеизложенное, ответьте на следующие вопросы.

(Молярные массы (г/моль) равны: Н – 1, С – 12, О – 16; газовая постоянная  $R = 8,314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  (или  $0,082 \text{ л}\cdot\text{атм}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ )

### II-1 (0,7 балла)

Напишите уравнение реакции фотосинтеза с образованием глюкозы из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

### II-2 (2,2 балла)

На один квадратный метр земной поверхности приходится около 1,0 кДж солнечной энергии в секунду. Какой процент этой энергии используется в образовании глюкозы?

### II-3 (1,7 балла)

Рассчитайте массу глюкозы, расщепляющейся в организме человека массой 60 кг при его подъеме на 1000 м, считая, что энергия, необходимая для его восхождения, в 5 раз больше механической работы, необходимой для подъема груза массой 60 кг на ту же высоту. Единственным источником энергии считайте расщепление глюкозы.

### II-4 (0,6 балла)

Напишите уравнение реакции между  $\text{KO}_2$  и  $\text{CO}_2$ , приводящей к образованию  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{O}_2$ .

### II-5 (1,7 балла)

Найдите массу  $\text{CO}_2$  в 1 л воздуха, выдыхаемого человеком.

### II-6 (1,7 балла)

Считая, что через кислородную маску с  $\text{KO}_2$ , используемую пожарными, проходит 400 л воздуха в час, определите массу  $\text{O}_2$ , образующегося за это время. Примите, что реакция проходит до конца.

### II-7 (0,7 балла)

Напишите уравнение реакции взаимодействия  $\text{CO}_2$  с известковой водой.

### II-8 (0,7 балла)

Каково общее число электронов в молекуле  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ?



## Задание III

### III-1 Физиология растений

В коническую колбу (рис. III-1) объемом 250 см<sup>3</sup> студент налил 20 см<sup>3</sup> 5 мМ раствора КНСО<sub>3</sub> и добавил туда 5 капель универсального рН-индикатора. Затем под водой он срезал несколько листьев растения и перенес их в маленький стеклянный стакан с водой. При этом черешки листьев оказались погруженными в воду. Потом он обвязал стакан ниткой и опустил его на этой нитке внутрь конической колбы, которую затем заткнул пробкой и обеспечил герметичность с помощью парафиновой пленки. После этих приготовлений он начал эксперимент.

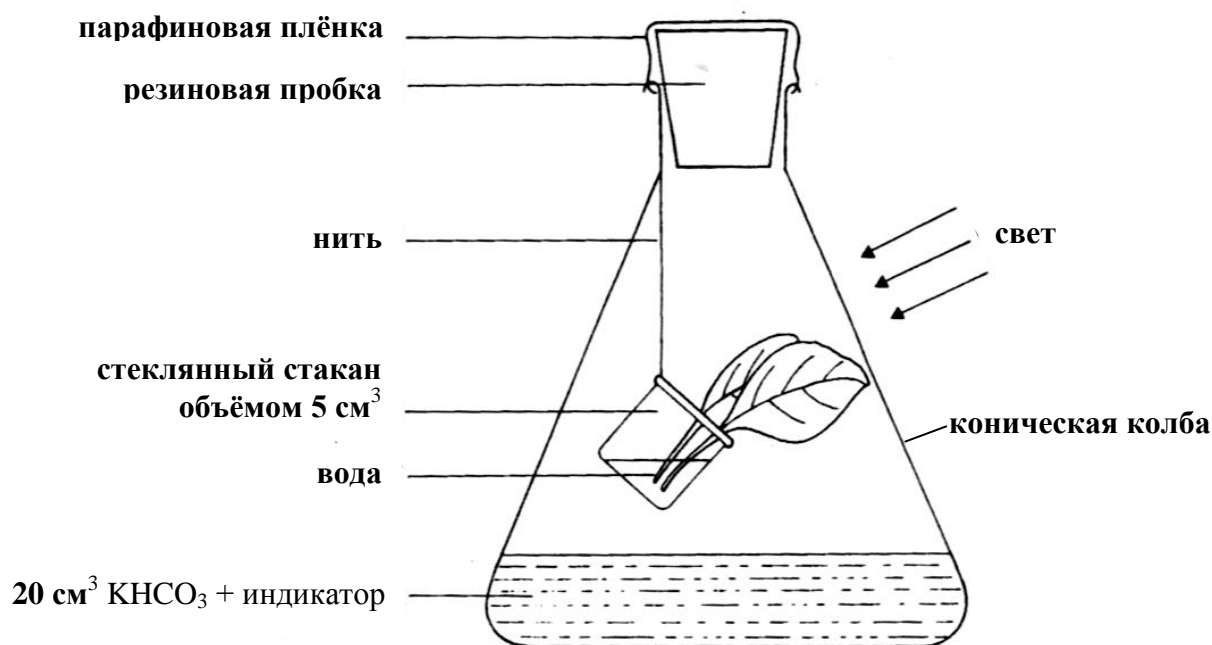


Рис. III-1

В следующих после таблицы III-1 предложениях есть пропуски, обозначенные буквами. В листе ответов поставьте напротив этих букв цифры из таблицы, соответствующие пропущенным фрагментам. Один фрагмент может быть использован в нескольких предложениях или не использован вообще. (Каждый ответ 0,3 балла, всего 4,2 балла)

Таблица III-1

1: увеличивалась	2: уменьшалась	3: не изменилась	4: фотосинтеза
5: дыхания	6: транспирации	7: O <sub>2</sub>	8: CO <sub>2</sub>
9: K <sup>+</sup>	10: HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11: OH <sup>-</sup>	12: H <sup>+</sup>

#### III-1-A

Студент поставил колбу в 30 см от лампы накаливания мощностью 60 Вт и включил её на 3 часа. Он обнаружил, что через 3 часа величина рН раствора в колбе \_\_(a)\_\_. Это произошло потому, что в листьях преимущественно проходил процесс \_\_(b)\_\_, в ходе которого поглощался \_\_(c)\_\_, и как следствие, концентрация ионов \_\_(d)\_\_ и \_\_(e)\_\_ в растворе \_\_(f)\_\_.



### III-1-B

Студент выключил лампу и оставил колбу в темноте. Через 3 часа он обнаружил, что величина pH раствора в колбе \_\_ (a) \_\_. Это произошло потому, что в листьях происходил процесс \_\_ (b) \_\_, в ходе которого выделялся \_\_ (c) \_\_, и как следствие, концентрация ионов \_\_ (d) \_\_ и \_\_ (e) \_\_ в растворе \_\_ (f) \_\_.

### III-1-C

Студент заменил раствор  $\text{KHCO}_3$  на  $20 \text{ см}^3$  5 мМ раствора NaOH, заменил листья на новые, заткнул колбу и включил лампу на 3 часа. Он обнаружил, что в течение этих 3 часов в листьях сначала произошло замедление \_\_ (a) \_\_, а затем замедление \_\_ (b) \_\_.

## III-2 Поддержание постоянства (гомеостаз) сахара в крови

Термин гомеостаз подразумевает поддержание постоянства химических и физических параметров внутренней среды человеческого организма. Примером этого является регулируемое гормонами поддержание практически постоянной концентрации сахара (преимущественно глюкозы) в крови.

У мистера Чена проводили исследование концентрации сахара в крови по следующей схеме. Мистер Чен поужинал в 6 часов вечера и затем не ел до 8 часов утра. Сразу после ужина у него была взята проба крови на сахар, и подобные пробы потом брались каждый час на протяжении 8 часов. В течение всего эксперимента мистер Чен не испытывал беспокойства. Результаты анализа этих проб показаны на рисунке III-2, где по оси ординат отложена концентрация сахара в крови, а по оси абсцисс – время (в часах). На графике можно выделить три фазы. Исходя из проведенного анализа крови и общего медицинского обследования, состояние здоровья мистера Чена было признано нормальным, и диагноз сахарного диабета был отклонен.

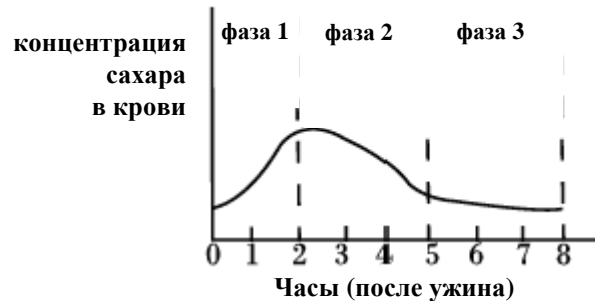


Рис. III-2

Исходя из приведенной информации, ответьте на следующие вопросы, используя соответствующие номера (от 1 до 6) из таблицы III-2 или буквы (от *a* до *e*) из таблицы III-3.

Таблица III-2 (Гормоны, которые регулируют содержание сахара в крови)

1. Тироксин
2. Инсулин
3. Адреналин
4. Глюкагон
5. Гормон роста
6. Кортизол

Таблица III-3 (События, связанные с изменением концентрации сахара в крови)

a. Сахар крови проникает в клетки печени
b. Сахар крови проникает в клетки поджелудочной железы
c. Продукты расщепления гликогена выходят в кровь
d. Всосавшиеся в кишечнике питательные вещества поступают в кровь
e. Сахар крови выводится с мочой





### III-2-A (0,3 балла)

Какое из событий, перечисленных в таблице III-3, привело к повышению концентрации сахара в крови мистера Чена в течение фазы 1, сразу после ужина?

### III-2-B

III-2-B-a (0,3 балла)

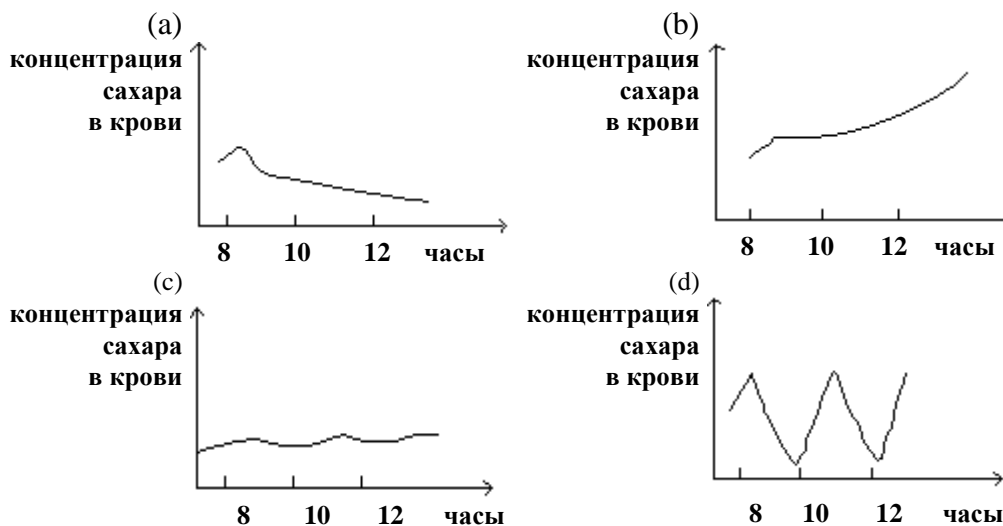
Какое из событий, перечисленных в таблице III-3, привело к устойчивому понижению концентрации сахара в крови в течение фазы 2?

III-2-B-b (0,3 балла)

Какой из гормонов, перечисленных в таблице III-2, регулирует процесс, происходящий в фазе 2?

### III-2-C (0,3 балла)

Какой из предложенных ниже графиков мог бы соответствовать изменениям концентрации сахара в крови мистера Чена в течение 6 часов после фазы 3, то есть в период от 8 до 14 часов после ужина?



### III-2-D

III-2-D-a (0,3 балла)

Какой из гормонов, перечисленных в таблице III-2, является наиболее вероятным кандидатом на регуляцию концентрации сахара в крови мистера Чена после окончания фазы 3 (смотри вопрос III-2-C)?

III-2-D-b (0,3 балла)

С каким из событий, перечисленных в таблице III-3, связан уровень концентрации сахара в крови мистера Чена после фазы 3?

### III-2-E (0,6 балла)

Другой пациент, мистер Вонг, страдает сахарным диабетом. Он, также как и мистер Чен, поужинал в 6 часов вечера и затем голодал для проведения анализа крови. Предположите, как могла изменяться концентрация сахара в крови мистера Вонга в течение 8 часов после ужина? Изобразите на рисунке III-2 в листе ответов график изменения концентрации сахара в крови мистера Вонга (график изменения концентрации сахара в крови мистера Чена дан).



### III-2-F

Исследование мочи Мистера Вонга показали, что она содержит глюкозу. Известно, что глюкоза попадает в мочу следующим образом: сначала всасывается в тонком кишечнике, а затем проходит через кровеносную и выделительную систему. В конце концов, она выводится с мочой. В следующем предложении есть пробелы, обозначенные буквами. В листе ответов поставьте напротив этих букв цифры (от 1 до 14 из таблицы III-4) соответствующие пропущенным фрагментам.

(каждый ответ 0,2 балла, всего 2,4 балла)

Таблица III-4

1. Лёгочная артерия
2. Лёгочная вена
3. Левое предсердие
4. Правое предсердие
5. Левый желудочек
6. Правый желудочек
7. Печёночная артерия
8. Печёночная вена
9. Воротная вена печени
10. Почечная артерия
11. Почечная вена
12. Мочеиспускательный канал (уретра)
13. Мочеточник
14. Мочевой пузырь

Молекулы глюкозы, всосавшиеся через ворсинки тонкой кишки, переносятся по \_\_ (a) \_\_ в печень, затем по \_\_ (b) \_\_ поступают в нижнюю полую вену, и из неё в \_\_ (c) \_\_ сердца. Затем кровь выталкивается \_\_ (d) \_\_ из сердца, течет по \_\_ (e) \_\_ к легким и возвращается назад к сердцу по \_\_ (f) \_\_. Пройдя через \_\_ (g) \_\_ и \_\_ (h) \_\_, кровь выталкивается из сердца в аорту. Затем кровь попадает в почки через \_\_ (i) \_\_ и глюкоза из крови отфильтровывается в мочу. После реабсорбции моча, содержащая избыточную глюкозу через \_\_ (j) \_\_ поступает в \_\_ (k) \_\_ для накопления. В конце концов, моча, содержащая глюкозу, выводится через \_\_ (l) \_\_.

### III-3 Вредители на рисовом поле

Мисс Ту ежегодно считала количество вредителей на своем рисовом поле. Результаты подсчетов изображены на диаграмме (рис. III-3).

В один прекрасный день она решила начать и начала ежегодно применять определенное количество X-пестицида для того, чтобы не давать вредителям уничтожать её урожай риса. Она продолжала каждый год подсчитывать живых вредителей. Результаты подсчётов изображены на той же диаграмме (рис. III-3).

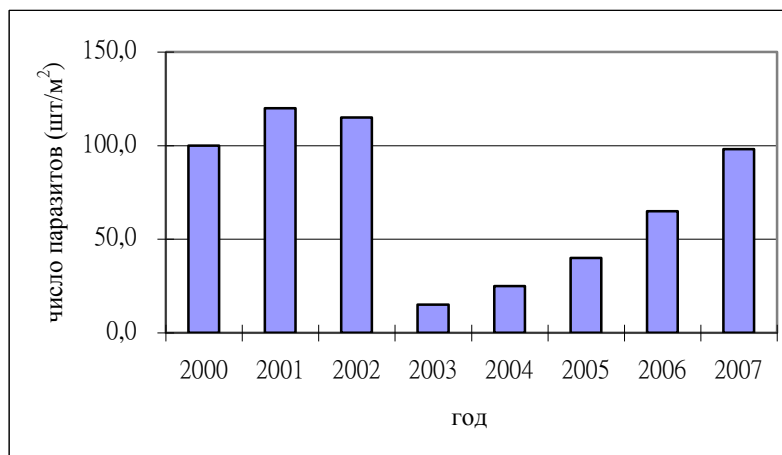


Рис. III-3



На основе своих наблюдений мисс Ту пришла к выводу, что X-пестицид был очень эффективен в первые годы, а затем стал постепенно терять свою эффективность.

Пользуясь всей предыдущей информацией ответьте на следующие вопросы.

**III-3-A (0,4 балла)**

Основываясь на данных (рис. III-3), укажите в каком году мисс Ту впервые применила X-пестицид?

**III-3-B (0,3 балла)**

Какое из следующих положений подтверждает заключение мисс Ту?

(a) Рис на поле мисс Ту мутировал и такой мутантный рис стал привлекать все большее количество вредителей.

(b) В популяции вредителей возникла группа организмов, устойчивых к действию пестицида, а в последующие годы количество таких организмов стало увеличиваться.

(c) Слабый контроль качества производства пестицида привел к уменьшению его эффективности.

(d) После того как мисс Ту применила X-пестицид на своем поле, прошли кислотные дожди и дезактивировали его.

**III-3-C (0,3 балла)**

Зная результаты исследования мисс Ту, какой из следующих методов можно предложить для продления действия X-пестицида?

(a) Уменьшать с каждым годом дозу используемого X-пестицида.

(b) Удваивать с каждым годом дозу X-пестицида.

(c) Чередовать высокие и низкие дозы X-пестицида от года к году.

(d) Ежегодно чередовать применение X-пестицида с другим эффективным пестицидом.

## Решения

### II-1 (0,7 балла)

Напишите уравнение реакции фотосинтеза с образованием глюкозы из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .  
 $6 \text{CO}_2(\text{г.}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{ж.}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{тв.}) + 6\text{O}_2(\text{г.})$

### II-2 (2,2 балла)

На один квадратный метр земной поверхности приходится около 1,0 кДж солнечной энергии в секунду. Какой процент этой энергии используется в образовании глюкозы?

$$\frac{370 \cdot 2800 \cdot 100\%}{44 \cdot 6 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365} = 0,0124 \%$$

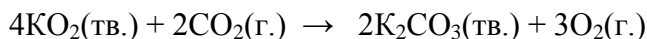
### II-3 (1,7 балла)

Рассчитайте массу глюкозы, расщепляющейся в организме человека массой 60 кг при его подъеме на 1000 м, считая, что энергия, необходимая для его восхождения, в 5 раз больше механической работы, необходимой для подъема груза массой 60 кг на ту же высоту. Единственным источником энергии считайте расщепление глюкозы.

$$\frac{5 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 9,8 \cdot 180}{2800 \cdot 0,7} = 270 \text{ г}$$

### II-4 (0,6 балла)

Напишите уравнение реакции между  $\text{KO}_2$  и  $\text{CO}_2$ , приводящей к образованию  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{O}_2$ .



### II-5 (1,7 балла)

Найдите массу  $\text{CO}_2$  в 1 л воздуха, выдыхаемого человеком.

$$\frac{133,3 \cdot 30 \cdot 44}{1000 \cdot 8,314 \cdot 310} = 0,0683 \text{ г}$$

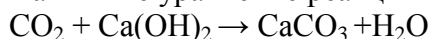
### II-6 (1,7 балла)

Считая, что через кислородную маску с  $\text{KO}_2$ , используемую пожарными, проходит 400 л воздуха в час, определите массу  $\text{O}_2$ , образующегося за это время. Примите, что реакция проходит до конца.

$$\frac{400 \cdot 273 \cdot 133,3 \cdot 30 \cdot 3 \cdot 32}{310 \cdot 22,4 \cdot 101325 \cdot 2} = 29,8 \text{ г} \quad \text{или} \quad \frac{0,0683 \cdot 400 \cdot 3 \cdot 32}{44 \cdot 2} = 29,8 \text{ г}$$

### II-7 (0,7 балла)

Напишите уравнение реакции взаимодействия  $\text{CO}_2$  с известковой водой.



### II-8 (0,7 балла)

Каково общее число электронов в молекуле  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ?

$$6 \cdot 6 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 8 = 96$$