



Теоретический тур

2013
india

10-я
Международная Естественная Олимпиада Юниоров,
Пуна, Индия

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

Очень Важная Инструкция

**Первые 30 минут должны быть использованы
ТОЛЬКО для чтения листов с заданием.**

**Вам ЗАПРЕЩЕНО писать что-либо в это время,
даже на листах с заданием.**

**Спустя 30 минут
вам выдадут листы ответов и дадут
сигнал к началу работы.**

**После этого у вас будет 3 часа
для выполнения задания.**



Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

Правила тура

1. Сядьте за предназначенный для вас стол.
2. Перед началом тура убедитесь в наличии на вашем столе ручки, линейки и калькулятора, которыми вас обеспечили организаторы.
3. Вы не должны приносить с собой что-либо, кроме личных медикаментов или другого личного медицинского оборудования.
4. Убедитесь в наличии листов с вопросами и листов для ответов. Если вы не обнаружили какой-то лист, поднимите руку. Тур начинается по свистку.
5. В ходе испытания вы не должны покидать помещение за исключением чрезвычайной ситуации, и при этом вас будут сопровождать организаторы соревнования.
6. Вы не должны беспокоить других участников тестирования и нарушать ход тестирования. В случае, если вам необходима помощь, вы можете поднять руку и ближайший дежурный придет к вам на помощь.
7. Не допускается никаких вопросов или дискуссий по заданиям тура. Вы должны оставаться за своим столом до окончания тура, даже если закончили работу раньше отведенного времени.
8. По окончании времени, отведенного на теоретический тур, прозвучит свисток. Вам не разрешается писать что-либо на листах для ответов после окончания тура. Вы должны тихо покинуть комнату, когда вас об этом попросят. Листы с ответами и заданием должны остаться аккуратно сложенными на вашем столе.



Теоретический тур

10-я

Международная Естественная Олимпиада Юниоров,
Пуна, Индия

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

Внимательно прочитайте следующую инструкцию

- A. На выполнение задания отводится 3 часа.
- B. Убедитесь, что вам выдан полный комплект условий и соответствующих листов для ответов. В задании теоретического тура 5 вопросов (на 18 страницах).
- C. **На каждой странице** листов ответов напишите свой код (ID). На первой странице листов ответов запишите латинскими буквами свой код, страну, фамилию, имя и поставьте подпись.
- D. Записывайте свои окончательные ответы в малых рамках на листах ответов, помеченных словом ANSWER, а этапы ваших вычислений записывайте в больших рамках на листах ответов.

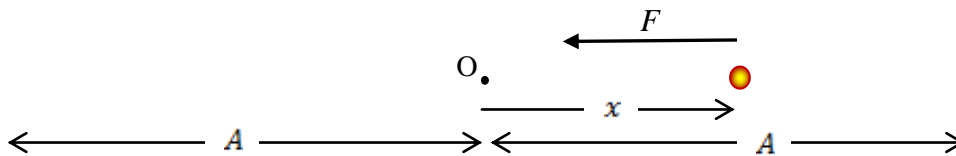
Задание 1

Колебания, или периодические движения, широко распространены во Вселенной. Введем понятие *линейной возвращающей силы*, т.е. силы F , действующей на тело массы m , находящееся на расстоянии x от его положения равновесия. Эта сила может быть задана уравнением

$$F = -kx,$$

где k – постоянный положительный коэффициент пропорциональности.

Отрицательный знак (–) в уравнении показывает, что сила направлена в сторону положения равновесия O , находящегося в точке $x = 0$:



Под воздействием такой силы тело будет совершать *гармонические колебания* (ГК), т.е. периодические движения около положения равновесия (O), с периодом

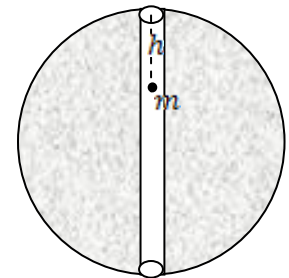
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{и частотой} \quad \nu = \frac{1}{T}.$$

Максимальное смещение A тела из положения равновесия называется *амплитудой* колебаний. Оно показано на предыдущем рисунке.

(b) Представим Луну в виде однородного твердого шара со следующими параметрами: радиус $R = 1,7 \times 10^6$ м, масса $M = 7,3 \times 10^{22}$ кг, ускорение свободного падения на поверхности $g = 1,6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Известно, что для сферически симметричного распределения массы гравитационная сила на расстоянии r от центра создается только массой, заключенной внутри сферы радиуса r с тем же центром.

Рассмотрим следующую ситуацию. Прямой узкий тоннель прорыт сквозь Луну и проходит через ее центр (см. рис.). Тело малой массы m уронили в него с одного конца.



(i) Величина гравитационной силы, действующей на тело массы m на глубине h от поверхности (см. рис.), будет равна

[0.5]

- (A) $mg \left(1 - \frac{h}{R}\right)$ (B) $mg \left(1 + \frac{h}{R}\right)$ (C) $mg \frac{h}{R}$ (D) $mg \frac{h}{R-h}$

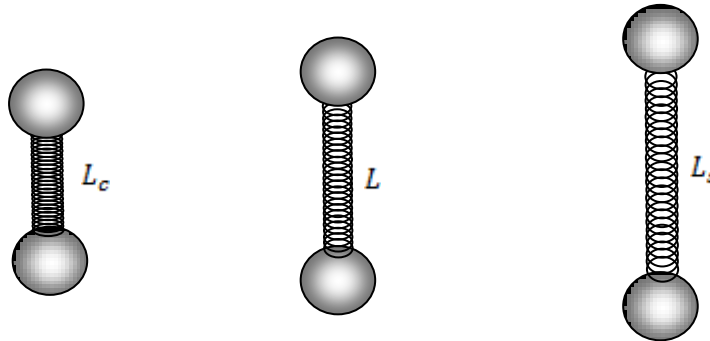
Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

(ii) В вашем листе ответов на заготовке для графика нарисуйте график зависимости отношения $F(r)/(mg)$ от отношения (r/R) , где $F(r)$ – сила, действующая на тело массы m на расстоянии r от центра Луны, при изменении r от 0 до $2R$. [1.0]

(iii) Пусть масса $m = 0,10$ кг. Чему равно минимальное время (в секундах), прошедшее с того момента, когда тело массой m уронили в шахту с поверхности Луны, до того момента, когда оно достигнет центра Луны? [1.0]

(c) Молекулы, подобные O_2 , состоят из двух одинаковых атомов, удерживаемых вместе ковалентной связью. Такие молекулы можно представить в виде двух одинаковых шариков массы m , связанных пружиной, которая создает линейную возвращающую силу F с коэффициентом пропорциональности k . Это приводит к ГК шариков вдоль соединяющей их линии. В результате молекула периодически переходит из сжатого состояния (в котором расстояние между шариками минимально и равно L_c) в растянутое состояние (в котором расстояние максимально и равно L_s). В промежуточном состоянии сила F равна нулю в том случае, когда расстояние между шариками равно равновесному L .



Очевидно, что $L_c < L < L_s$, как показано на рисунке.

(i) Молекула O_2 имеет коэффициент пропорциональности $k = 1150 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$. Равновесная длина связи $L = 1,5\cdot 10^{-10}$ м и изменение её длины для случая максимального растяжения составляет 6,0% от L . Вычислите энергию колебаний (в кДж·моль⁻¹), которая является суммой кинетической и потенциальной энергий, приходящуюся на моль кислорода. (Число Авогадро $N_A = 6.023\cdot 10^{23}$ моль⁻¹). [1.5]



Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

- (ii) Относительные атомные массы галогенов, перечисленные в периодической системе, равны:

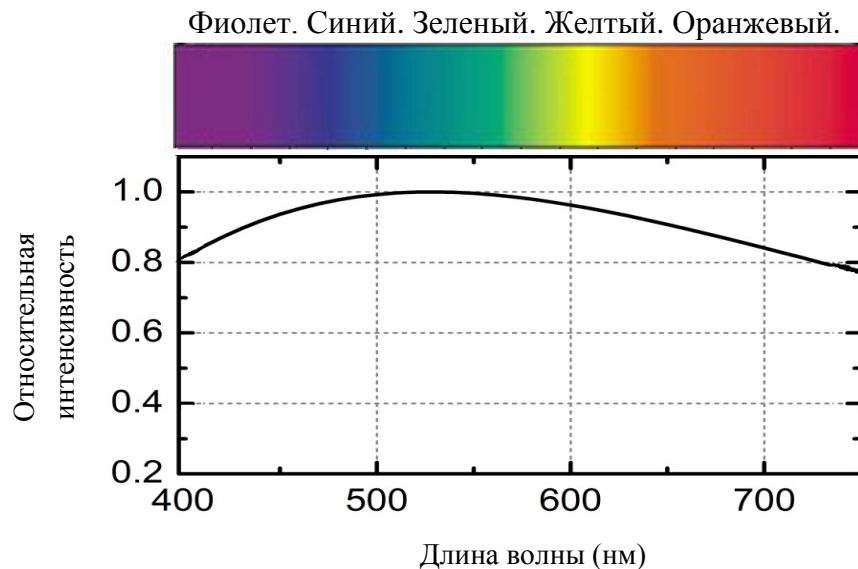
F	Cl	Br	I
19,0	35,5	79,9	126,9

Два элемента подгруппы галогенов, X и Y, образуют двухатомные молекулы X_2 и Y_2 с коэффициентами пропорциональности $k_X = 325,0 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$ и $k_Y = 446,0 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$ соответственно. Частоты их колебаний оказались равными $\nu_X = 16,7 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$ и $\nu_Y = 26,8 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$.

Определите элементы X и Y и напишите их символы. В ваших листах ответов запишите результат в виде $X = \underline{\hspace{2cm}}$, $Y = \underline{\hspace{2cm}}$. **[1.0]**

Задание 2

Солнечный свет – наиболее важный источник освещения на Земле. В его состав входят электромагнитные волны различной длины, часть из которых человеческий глаз воспринимает как различные цвета. В солнечном свете интенсивность излучения с различной длиной волны не одинакова (см. график). Интенсивность максимальна у сине-зеленого света с длиной волны около 525 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$).



Наше восприятие цвета предметов в основном определяется зависящими от длины волны рассеянием или поглощением солнечного света этими предметами. Если рассеянный/отраженный объектом солнечный свет имеет точно такую же зависимость интенсивности от длины волны, что и падающий, то он кажется глазу белым. Любое отклонение от этого распределения интенсивности в рассеянном/отраженном предметом свете воспринимается как появление у объекта окраски.

- (а) Рассеяние света частицами, размеры которых много меньше длины волны света, например, молекулами воздуха, было независимо исследовано лордом Релеем в Великобритании и сэром Ч.В. Раманом в Индии. Они показали, что если мы определим *эффективность рассеяния* η_s как $\eta_s = I_s / I_i$, где I_i и I_s – интенсивности падающего и рассеянного света соответственно, то $\eta_s(\lambda) \sim \lambda^{-4}$, где λ – длина волны падающего света. Позднее немецкий физик Густав Ми показал, что если размеры частиц сравнимы с длиной волны, то η_s будет примерно в 40 раз

Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

больше и не будет зависеть от длины волны λ . Таким образом, имеются различия между зависящим от длины волны *Релеевским рассеянием* и не зависящим от длины волны *рассеянием Ми*.

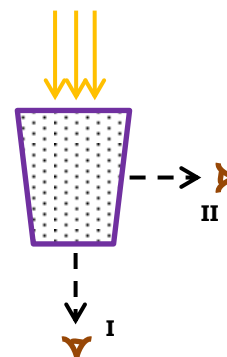
(i) Если пропустить солнечный свет через прозрачный сосуд (со стенками пренебрежимо малой толщины), заполненный газообразным азотом, чему будет равно отношение интенсивностей рассеянного света для длин волн 400 нм и 650 нм соответственно? [1.0]

(ii) Для чистого воздуха на длинах волн, соответствующих сине-зеленому цвету, *дальность видимости* R_v^0 равна примерно 300 км. Тем не менее, если воздух загрязнен взвешенными в нем веществами (такими, как дым или пыль), они рассеивают солнечный свет эффективнее, чем молекулы воздуха, и видимость значительно ухудшается. Для загрязненного воздуха дальность видимости задается формулой

$$R_v = \frac{R_v^0}{\beta_s},$$

в которую входит *фактор потерь на рассеяние* β_s , удовлетворяющий соотношению $\beta_s \sim \eta_s C$, где C – концентрация рассеивающего вещества, а η_s – эффективность рассеяния этого вещества. Очевидно, что для чистого воздуха $\beta_s = 1$. Пусть после пыльной бури в воздухе остались частицы пыли размером 520 нм с концентрацией 10%. Чему будет при этом равна дальность видимости R_v (в км) для сине-зеленого цвета? [1.5]

(iii) Молоко – это *коллоидный раствор*, в котором частицы жидких жиров размером около 100 нм распределены в воде. Эти частицы рассеивают свет значительно сильнее, чем молекулы воды, что приводит к тому, что нормальное молоко кажется белым.



Рассмотрим следующий эксперимент. В стакан с водой, освещенный сверху пучком солнечного света, добавили несколько капель молока (см. рис.). Вода стала мутной, но некоторое количество солнечного света все еще проходит через стакан, так как концентрация молока мала. После этого на стакан смотрят снизу (I) и сбоку (II), как показано на том же рисунке.

Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

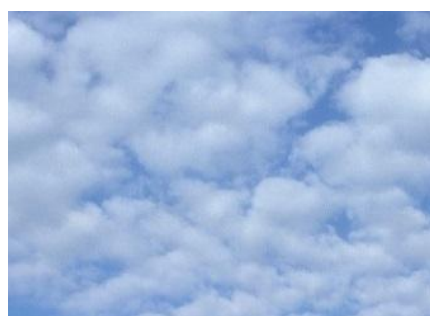
В сравнении с проходящим светом, наблюдаемым снизу (I), проходящий свет, наблюдаемый сбоку (II), будет казаться [0.5]

(A) более синим, (B) более оранжевым, (C) более красным, (D) таким же.

(iv) Какое из следующих атмосферных явлений происходит преимущественно за счет рассеяния Ми? [0.5]



(A) красный закат



(B) белые облака



(C) синее небо



(D) радуга

Картинки взяты из:

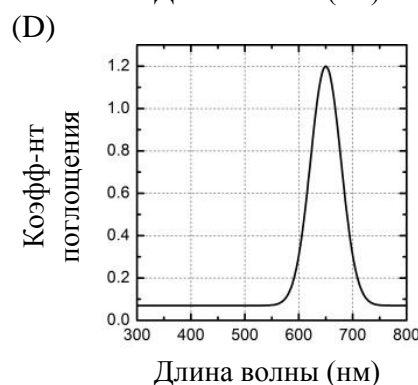
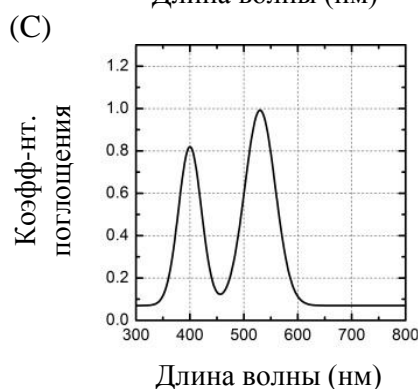
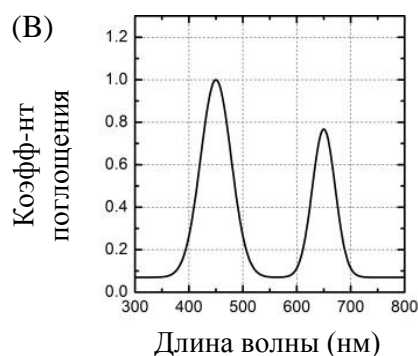
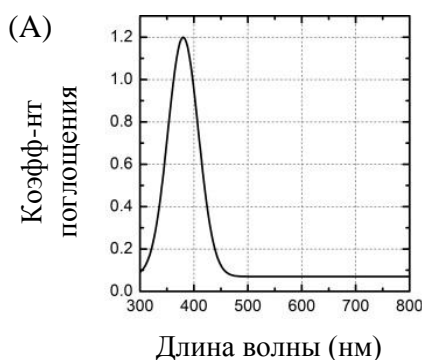
- (A) <http://bostern.wordpress.com> (B) <http://www.kaneva.com>
(C) <http://lisathatcher.wordpress.com> (D) <http://www.freefoto.com>

Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

(b) Растения поглощают солнечный свет и запасают энергию в химической форме, соединяя воду и CO_2 в молекулы углеводов в ходе сложного процесса, называемого *фотосинтезом*. Открытие фотосинтеза – это длинная и восхитительная история, начатая голландским физиком Яном ван Гельмонтом в XVII веке. Некоторые из ранних исследований физиологии фотосинтеза были проведены в 1920-х годах индийским ученым сэром Дж.Ч. Боше. Некоторые детали механизма даже сейчас все еще не исследованы.

- (i) Зеленый цвет листьев и побегов растений обычно определяется присутствием хлорофилла, который в основном отвечает за фотосинтез. На каком из представленных графиков изображен правильный спектр поглощения хлорофилла? [1.0]



- (ii) Считая, что скорость фотосинтеза пропорциональна количеству поглощенного света (см. предыдущие графики), чему будет равна длина волны (в нм), соответствующая максимальной скорости фотосинтеза у зеленых растений? [0.5]

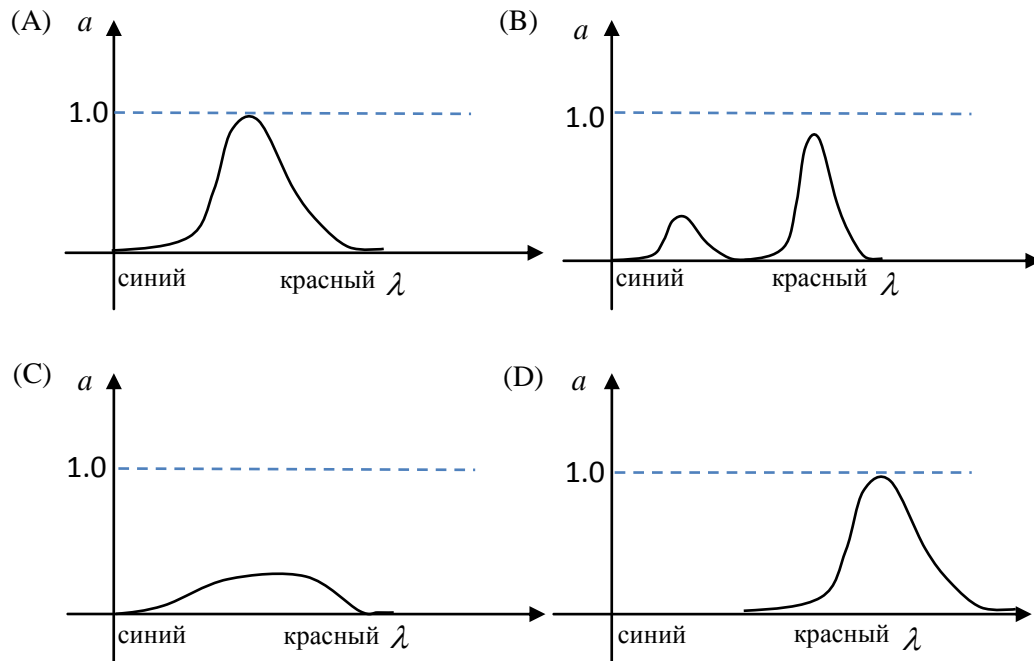
Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

(iii) В течение длительного времени считалось, что только растения способны поглощать энергию солнечного света и преобразовывать ее в пригодную для использования форму. Тем не менее, с изобретением солнечных фотоэлементов появились искусственные устройства, которые способны, подобно процессу фотосинтеза, преобразовывать свет в электрическую энергию для дальнейшего использования в различных устройствах.

На четырех графиках, приведенных ниже, представлены характерные зависимости для коэффициента поглощения (a) четырех различных материалов, которые потенциально могут быть использованы для создания солнечных фотоэлементов. При условии, что эти фотоэлементы должны работать от солнечного света, какой из материалов будет обеспечивать максимальную эффективность преобразования солнечного света в электрическую энергию?

[1.0]



Задание 3

Поддержание постоянного значения рН крови и межклеточных жидкостей является жизненно важным для организма. Это связано прежде всего с тем, что работа ферментов, которые катализируют процессы, зависит от значения рН, и минимальные изменения в значениях рН могут привести к тяжелым заболеваниям. рН плазмы крови человека составляет 7,4. Наличие ионов CO_3^{2-} , HCO_3^- и CO_2 в жидких средах организма помогает стабилизировать значение рН крови, несмотря на образование или расходование ионов H^+ при протекании различных биохимических реакций.

(а) Диссоциация H_2CO_3 в крови происходит в две ступени. Запишите уравнения двух ступеней диссоциации. [0.5]

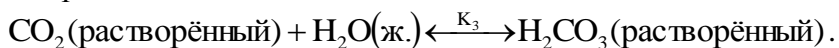
(b) Пусть константы равновесия для этих реакций K_1 и K_2 соответственно. Значения этих констант при температуре тела 37°C равны:

$$K_1 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ и } K_2 = 4,8 \cdot 10^{-11}.$$

(i) Вычислите концентрацию H^+ в растворе при 37°C и значение рН, если H_2CO_3 и HCO_3^- присутствуют в данном растворе в равных молярных концентрациях (моль/л). [0.5]

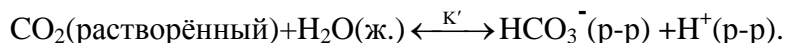
(ii) Вычислите отношение концентраций ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} , необходимое для поддержания рН крови равным 7,4. [1.0]

(c) Обычно в человеческом организме H_2CO_3 находится в равновесии с CO_2 , растворенным в крови.



При 37°C константа $K_3 = 5,0 \cdot 10^{-3}$.

Вычислите константу равновесия K' для реакции

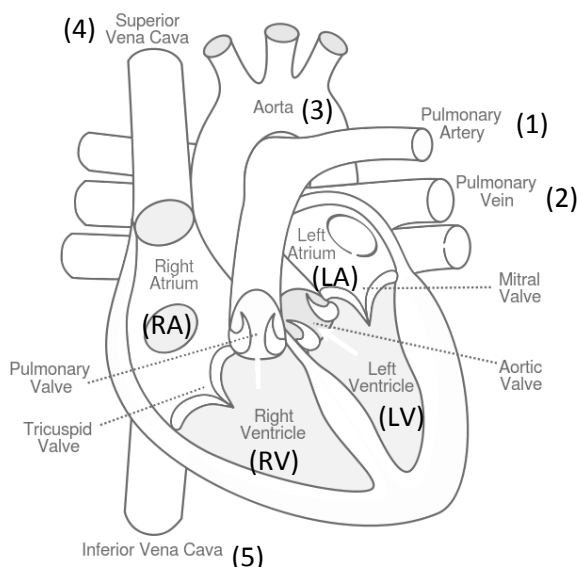


[0.5]

(d) Плазма крови содержит карбонатный буфер, являющийся смесью HCO_3^- и CO_2 с общей концентрацией $3,4 \cdot 10^{-2}$ М при 38°C . При этой температуре значение константы равновесия $K' = 1,3 \cdot 10^{-6}$. Концентрация H_2CO_3 ничтожно мала. Вычислите отношение концентраций $\text{CO}_2(\text{растворённого})$ и HCO_3^- , а также их индивидуальные концентрации в данном образце крови, имеющем рН = 7,4. [1.5]

Задание 4

В сердце человека есть четыре камеры – левое предсердие, правое предсердие, левый желудочек и правый желудочек. На картинке показаны эти четыре камеры и кровеносные сосуды, соединенные с сердцем.



Основные сосуды, выходящие из сердца и впадающие в сердце	Камеры сердца
1. Pulmonary artery (Легочная артерия)	RA) Right Atrium (Правое предсердие)
2. Pulmonary vein (Легочная вена)	RV) Right Ventricle (Правый желудочек)
3. Aorta (Аорта)	LA) Left Atrium (Левое предсердие)
4. Superior Vena Cava (Верхняя полая вена)	LV) Left Ventricle (Левый желудочек)
5. Inferior Vena Cava (Нижняя полая вена)	

(a) Перечислите, какие из них заполнены кровью, бедной кислородом?

[1.0]

Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

(b) В таблице приведены значения объема крови V в левом желудочке пациента в моменты времени t на различных этапах одного сердечного цикла. [0.5]

t (с)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
V (см ³)	80	89	75	60	48	47	70	80	89

Используя данные этой таблицы, вычислите частоту сердечных сокращений (ударов в минуту) у пациента.

(c) На разных этапах сердечного цикла различные клапаны открываются и закрываются, направляя ток крови по сердцу. Используя данные таблицы из раздела 4(b), определите положения митрального и аортального клапанов в моменты времени 0,2 с и 0,6 с соответственно. Заполните таблицу, приведенную на листе ответов, используя обозначения: «О» - открыт и «С» - закрыт. [1.5]

Time (Время)	Mitral valve (Митральный клапан)	Aortic valve (Аортальный клапан)
0,2 с		
0,6 с		

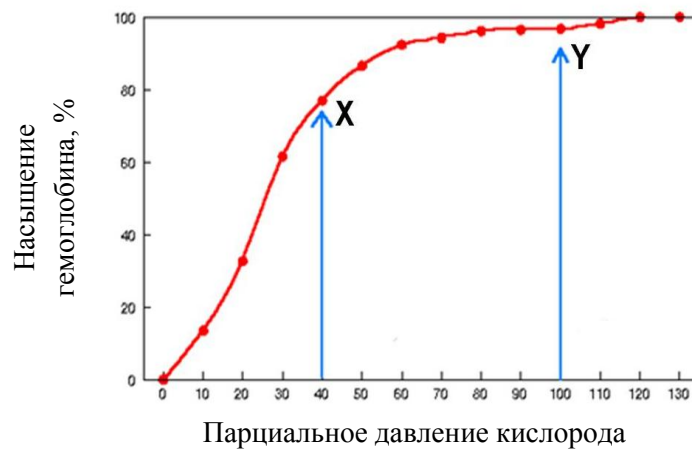
(d) При сокращении сердца кровь поступает в аорту. Диаметр аорты приблизительно равен 2,4 см. Используя таблицу из раздела 4(b), вычислите среднюю скорость (см/с) тока крови в аорте на протяжении одного полного сердечного цикла. [1.0]

(e) Из аорты и крупных артерий кровь поступает в артериолы и капилляры. Приняв, что крупные артерии имеют общую площадь сечения около 7,0 см², а объем находящейся в них крови равен объему крови в аорте, вычислите среднюю скорость (см/с) кровотока по ним. [0.5]

Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

(f) Степень насыщения гемоглобина (Hb) кислородом может быть определена с помощью измерения парциального давления кислорода в различных тканях тела. На рисунке приведена зависимость степени насыщения гемоглобина кислородом от парциального давления кислорода. На графике выбраны две точки, обозначенные как X и Y.



Используя приведенный выше график, найдите соответствие между степенью насыщения гемоглобина кислородом в точках X и Y и парциальным давлением кислорода в различных частях тела. Заполните таблицу на листе ответов, используя символы X и Y. [1.0]

Aorta (Аорта)	Renal vein (Почечная вена)	Alveolar space in lungs (Внутриальвеолярное пространство в легких)	Pulmonary artery (Легочная артерия)

Задание 5

Гепард – дикая кошка, в наше время уже исчезнувшая в Индии, но обитающая в некоторых других районах мира. Гепард известен высокой скоростью бега и способностью к быстрому ускорению. Он может разогнаться из состояния покоя до максимальной скорости в 30 м/с всего за 3,0 секунды. (Для сравнения, спортивному автомобилю, такому как Порше, требуется для этого 4,0 секунды).



Картинка взята из: <http://www.vimeo.com>

Хотя гепард способен ускориться и бежать очень быстро, он не способен долго сохранять максимальную скорость, поскольку быстро устает. Поэтому, если он не настигает добычу в течение короткого промежутка времени, то прекращает погоню.

(а) Предположим, что масса гепарда 50 кг. Он стартует и разгоняется за 3,0 секунды до максимальной скорости в 30 м/с. Затем он продолжает бежать на протяжении 20 секунд с этой скоростью.

(i) Посчитайте среднее ускорение, которое потребуется гепарду для достижения максимальной скорости. **[0.5]**

(ii) Посчитайте расстояние, которое гепард пробегает за первые 3,0 секунды, предположив, что он движется с постоянным ускорением. **[0.5]**

Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

- (iii) Гепард должен совершать работу против трения о воздух. Предположим, что сила трения постоянна и равна 100 Н. Посчитайте суммарную механическую работу, совершенную гепардом за первые 23,0 секунды движения. **[1.0]**
- (b) В течение первых 23,0 секунд температура тела гепарда повышается с $38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предположим, что удельная теплоемкость тела гепарда равна $4,2\text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$.
- (i) Посчитайте общее количество тепла, образовавшегося за это время в ходе метаболизма в теле гепарда, если температура тела при этом повышалась линейно. Пренебрегите любыми потерями тепла во внешнюю среду. **[1.0]**
- (ii) Предположим, что часть энергии, выделившейся в теле гепарда, идет на повышение температуры тела, а оставшаяся часть – на совершение механической работы. Посчитайте долю выделившейся энергии, которая перешла в кинетическую. **[1.0]**
- (c) Когда гепард начинает свой бег, он использует энергию, выделяющуюся в процессе аэробного дыхания, при котором глюкоза окисляется в присутствии кислорода и образуется АТФ. В этом процессе каждый моль глюкозы дает 36 моль АТФ, что соответствует 1130 кДж энергии, которые выделяются при полном использовании этой АТФ. Бег на высокой скорости повышает потребность организма в кислороде, в результате чего частота дыхания возрастает до 150 вдохов в минуту.
- (i) Запишите уравнение реакции аэробного дыхания. **[1.0]**
- (ii) Посчитайте, какой объем кислорода необходимо использовать гепарду для получения 400 кДж энергии, если предположить, что всю энергию он получает в результате аэробного дыхания. Примите молярный объем кислорода равным 24,5 литра. **[1.0]**
- (iii) Гепард получает кислород из воздуха, которым дышит. Вдыхаемый воздух (около 500 мл за один вдох) содержит 20,0% кислорода (по объему), в то время как выдыхаемый воздух – 15,0% кислорода (по объему). Посчитайте, какой



Теоретический тур

Длительность : 3 часа
Сумма баллов : 30

- объем кислорода поступает в организм гепарда в течение 23,0 секунд бега при частоте дыхания 150 вдохов в минуту. **[1.0]**
- (d) Из ответов на предыдущие вопросы должно быть понятно, что энергетические потребности мышц гепарда не обеспечиваются одним только аэробным дыханием. АТФ должна производиться также в ходе анаэробного дыхания, при котором на один моль глюкозы образуется только 2 моля АТФ.
- (i) При анаэробном дыхании энергия глюкозы переходит в энергию АТФ. При полном сгорании глюкозы один ее моль дает 2872 кДж энергии. Какова эффективность процесса анаэробного дыхания по сравнению с процессом полного сгорания глюкозы? **[1.0]**
- (ii) Посчитайте общее количество глюкозы (в килограммах), которое потребовалось бы гепарду для бега, если бы все необходимые для этого 400 кДж энергии он должен был бы получить в результате анаэробного дыхания. **[1.5]**