

Задача 9-5

Энергетика организма

Физиологические потребности в энергии взрослого человека, находящегося в полном покое в тёплой комнате, составляют около ккал/сутки.

Указание: в ответах на вопросы обязательно приводите формулы, используемые вами для расчётов, и расчёты. Учтите, что ответ без расчётов не засчитывается.

Предполагая, что основная часть этой энергии выделяется в виде теплоты, рассчитайте излучаемую человеком теплоту в ваттах ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$).

Предполагая, что эта энергия образуется за счёт окисления глюкозы до диоксида углерода и воды, рассчитайте минимально необходимую массу глюкозы, расходуемой в сутки.

Сколько молей кислорода требуется для окисления этой массы глюкозы в сутки?

Сколько вдохов в минуту минимально требуется человеку для такого окисления? Считайте, что дыхательный объём лёгких человека при спокойном дыхании составляет 0.5 л и что воздух имеет давление 1 атм и температуру воздухе, поглощается лёгкими.

Какую работу (в Дж) за минуту совершают мышцы грудной клетки при дыхании для расширения на 0.5 л против внешнего давления 1 атм при минимальном числе вдохов?

Какую массу воды теряет человек с воздухом в процессе дыхания при минимальном числе вдохов за 1 час? Считайте относительную влажность вдыхаемого воздуха равной 40 %, а выдыхаемого воздуха – 100 %. Температуру вдыхаемого и выдыхаемого воздуха примите равной 25 °C и 37 °C, соответственно. Изменением объёма воздуха при нагревании пренебрегите. Давление насыщенного пара p_s воды при 25 °C и 37 °C равно 3.17 кПа и

Справочная информация:

1 кал = 4.184 Дж.

Содержание кислорода в воздухе составляет 21 % по объёму.

Энтальпии образования:

Вещество	$\Delta_f H$, кДж/моль
Глюкоза $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	–1260
(г)	–394
O (ж)	–286

Работа расширения равна произведению давления, против которого происходит расширение, на изменение объёма при расширении.

Относительная влажность воздуха (ϕ) – это отношение парциального давления водяного пара в воздухе к равновесному давлению насыщенного водяного пара при данной температуре.

Решение задачи 9-5

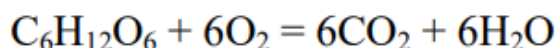
1). Количество теплоты, выделяемой в сутки:

$$\Delta H = 2100 \cdot 4.184 = 8786.4 \text{ кДж} = 8786400 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, выделяемой в секунду:

$$P = 8786400 / 24 / 60 / 60 \approx 102 \text{ Дж/с} = 102 \text{ Вт}$$

2). Уравнение реакции окисления глюкозы:



$$\Delta_r H = 6 \cdot \Delta_f H (\text{CO}_2) + 6 \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{O}) - \Delta_f H (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -2820 \text{ кДж/моль}$$

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \Delta H / -\Delta_r H = 8786.4 \text{ кДж} / 2820 \text{ кДж/моль} = 3.12 \text{ моль}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.12 \text{ моль} \cdot 180 \text{ г/моль} = 562 \text{ г}$$

3). Количество кислорода, необходимое в сутки:

$$n(\text{O}_2) = 6 \cdot n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 \cdot 3.12 = 18.7 \text{ моль}$$

4). Количество кислорода, расходуемое в минуту:

$$n(\text{O}_2 \text{ в минуту}) = 18.7 / 24 / 60 = 0.0130 \text{ моль}$$

Количество кислорода, получаемое с каждым вдохом:

$$n(\text{O}_2 \text{ с вдохом}) = \frac{pV}{RT} \cdot 0.21 \cdot 0.25 = \frac{101.3 \cdot 0.5}{8.31 \cdot 298} \cdot 0.21 \cdot 0.25 = 0.00107 \text{ моль}$$

Число вдохов в минуту:

$$N(\text{вдохов}) = 0.0130 / 0.00107 = 12$$

5). Работа, совершаемая в минуту:

$$W = p \cdot \Delta V \cdot N(\text{вдохов}) = 101.3 \text{ кПа} \cdot 0.5 \text{ л} \cdot 12 = 608 \text{ Дж/мин}$$

6). Масса воды, теряемой за один вдох, равна: массе воды в выдыхаемом воздухе за вычетом массы воды во вдыхаемом воздухе, то есть

$$\begin{aligned} \Delta m = m_2 - m_1 &= \frac{p_2 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_2} - \frac{p_1 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_1} = \frac{p_{s_2} \cdot \varphi_2 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_2} - \frac{p_{s_1} \cdot \varphi_1 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_1} = \\ &= \frac{6.28 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 18}{8.31 \cdot 310} - \frac{3.17 \cdot 0.4 \cdot 0.5 \cdot 18}{8.31 \cdot 298} = 0.0173 \text{ г} \end{aligned}$$

Масса воды, теряемой за один час:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \Delta m \cdot 12 \cdot 60 = 12.5 \text{ г}$$

Система оценивания:

1.	Общее количество теплоты – 1 балл Количество теплоты, выделяемой в секунду – 1 балл	2 балла
2.	Уравнение реакции – 1 балл Тепловой эффект реакции – 1 балл Количество глюкозы – 1 балл Масса глюкозы – 1 балл	4 балла
3.	Количество кислорода в сутки – 1 балл Правильный расчёт с неверным количеством глюкозы (из п. 2) – полный балл	1 балл
4.	Количество кислорода в минуту – 1 балл Количество кислорода с каждым вдохом – 3 балла Число вдохов в минуту – 1 балл Правильный расчёт с неверным количеством кислорода (из п. 3) – полный балл	5 баллов
5.	Работа, совершаемая за один вдох – 1 балл Работа, совершаемая в минуту – 1 балл Правильный расчёт с неверным числом вдохов (из п. 4) – полный балл	2 балла
6.	Масса воды, теряемой за один вдох – 5 баллов Масса воды, теряемой за один час – 1 балл Правильный расчёт с неверным числом вдохов (из п. 4) – полный балл	6 баллов
ИТОГО: 20 баллов		