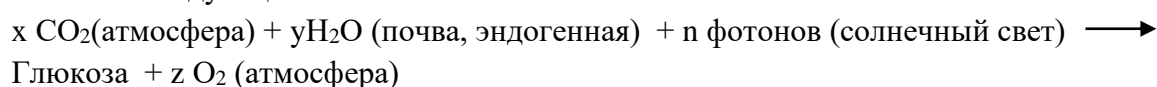


**Критерии оценки Теоретическая проблема № 1 Термодинамический анализ двух биологических процессов.**

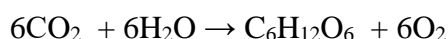
	Фотосинтез глюкозы										Биологическое окисление глюкозы		Всего
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	
Теоретическая проблема 1													
<b>Баллы</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>4,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,25</b>	<b>2,25</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>25</b>

**Раздел 1 Фотосинтез глюкозы**

**Фотосинтез** – это биотехнологический способ преобразования солнечной энергии высшими растениями и некоторыми микроорганизмами в энергию химических связей органических молекул. Примером фотосинтеза является синтез глюкозы растениями, представленной следующей схемой:

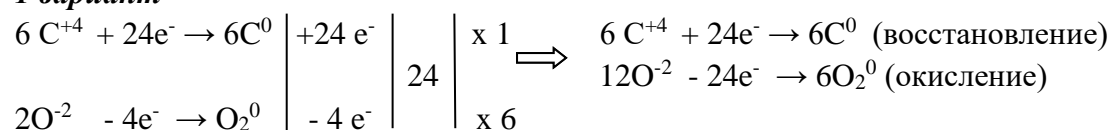


1-1. *Расставьте коэффициенты в уравнении фотосинтеза глюкозы методом электронного баланса. Укажите процесс окисления и восстановления.*



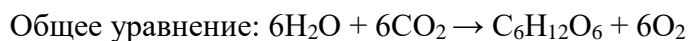
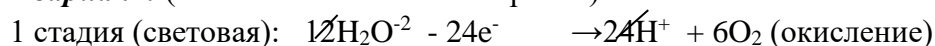
**1,0 балл**

**1 вариант**



или

**2 вариант** (с биологической точки зрения):



**1,0 балл**

**Всего: 2,0 балла**

1-2. Рассчитайте энергию солнечной радиации  $E_{\text{солн.радиации}}$ , необходимой для синтеза одного моль D-глюкозы при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  ( $298,15\text{ K}$ ) и давлении  $1\text{ атм.}$ , учитывая, что поглощенная энергия солнечной радиации прямо пропорциональна энтальпии  $\Delta H$  реакции фотосинтеза в заданных условиях. В своих расчетах используйте данные приведенной ниже таблицы 1. (Расчет проведите до десятых).

Таблица 1 – Стандартные значения энтальпии образования ( $\Delta H^0$ ) и энтропии ( $S^0$ ) веществ, участвующих в фотосинтезе.

Вещество	$\Delta H^0$ , кДж · моль <sup>-1</sup>	$S^0$ , Дж · моль <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub> (г.)	-393,5	213,7
H <sub>2</sub> O (ж.)	-285,8	69,9
O <sub>2</sub> (г.)	0	205,1
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (к.)	-1273,0	212,1

$$\Delta H_{\text{реакции фотосинтеза}} = \sum \Delta H^0_{\text{продуктов реакции}} - \sum \Delta H^0_{\text{исходных веществ}} \quad \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

$$E_{\text{солнечной радиации}} = \Delta H_{\text{реакции фотосинтеза}} = [\Delta H(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 6 \Delta H(\text{O}_2)] - [6 \Delta H(\text{CO}_2) + 6 \Delta H(\text{H}_2\text{O})] = 1273,0 + 6 \cdot 0 - (6 \cdot (-393,5) + 6 \cdot (-285,8)) = -1273,0 + 0 + 2361 + 1714,8 = +2802,8 \text{ кДж.}$$

Ответ: + 2802,8 кДж **1,5 балла**

**Всего: 2,0 балла**

1-3. Поясните, расчет какой термодинамической величины Вы используете для оценки спонтанности протекания реакции фотосинтеза при стандартных условиях.

В химических процессах одновременно действуют два противоположных фактора: энтропийный ( $T\Delta S$ ) и энтальпийный ( $\Delta H$ ). Суммарный эффект этих противоположных факторов в изобарно-изотермических процессах, к которым относится и фотосинтез, определяет энергия Гиббса. **1,0 балл**

Изобарно-изотермический процесс самопроизвольно протекает в том направлении, при котором энергия Гиббса системы уменьшается ( $\Delta G < 0$ ). **1,0 балл**

**Всего: 2,0 балла**

1-4. Рассчитайте эту величину при стандартных условиях (давление –  $1\text{ атм.}$ ,  $t = 25^{\circ}\text{C}$ ), используя данные таблицы 1. (значение абсолютной температуры:  $273,15\text{ K}$ )

Энергия Гиббса рассчитывается по уравнению:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \mathbf{1,0 \text{ балл}}$$

$$\Delta H = +2802,8 \text{ кДж (рассчитанная в задании 1-2)}$$

$$\Delta S_{\text{реакции фотосинтеза}} = \sum \Delta S^0_{\text{продуктов реакции}} - \sum \Delta S^0_{\text{исходных веществ}} \quad \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

$$\Delta S = \Delta S(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 6 \Delta S(\text{O}_2) - (6 \Delta S(\text{CO}_2) + 6 \Delta S(\text{H}_2\text{O})) = \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

$$= 212,1 + 6 \cdot 205,1 - (6 \cdot 213,7) - (6 \cdot 69,9) =$$

$$= 1442,7 - 1282,2 - 419,4 = -258,9 \text{ Дж} \quad \mathbf{1,0 \text{ балл}}$$

$$\text{Перевод Дж в кДж: } -258,9 \text{ Дж} = -0,2589 \text{ кДж} \quad \mathbf{0,25 \text{ балла}}$$

$$\text{Перевод температур } 25^{\circ}\text{C} \rightarrow (273,15 + 25) \text{ K} = 298,15\text{ K} \quad \mathbf{0,25 \text{ балла}}$$

**Расчет энергии Гиббса:**

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S;$$

$$\Delta G = + 2802,8 - (298,15 \cdot (- 0,2589)) = + 2802,8 + 77,19 = + 2880 \text{ кДж}$$

Ответ:  $\Delta G = + 2880 \text{ кДж}$

**1, 0 балл**

**Всего: 4,5 балла**

---

1-5. Оцените возможность самопроизвольного протекания фотосинтеза при 25<sup>0</sup>С и температурах выше 25<sup>0</sup>С.

Т.к. значение  $\Delta G > 0$ , реакция фотосинтеза при 25<sup>0</sup>С не самопроизвольна

При значениях температур  $> 25^0\text{C}$ , значение  $T\Delta S$  остается  $< 0$ ,  $\Delta H > 0$  и значение  $\Delta G$  остается  $> 0$  при любых температурах выше 25<sup>0</sup>С. **0,5 баллов**

Следовательно, процесс фотосинтеза является не самопроизвольным процессом как при температуре 25<sup>0</sup>С, так и при температурах выше 25<sup>0</sup>С. **0,5 баллов**

**Всего: 1,0 балл**

---

1-6. Наиболее эффективное усвоение солнечной энергии с помощью хлорофилл содержащих фотосистем высших зелёных растений происходит при длине волны света 680 нм. Рассчитайте энергию одного фотона этой части спектра, используя следующую формулу:

$$E_{\text{фотона}} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

где,

$h$  – постоянная Планка  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж

$c$  – скорость света в вакууме,  $3,0 \cdot 10^8$  м · с<sup>-1</sup>

$\lambda$  – длина волны, нм ( $10^{-9}$ )

Необходим перевод нм → м  $680 \text{ нм} \cdot 10^{-9} = 6,80 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

**0,25 балла**

$$E_{\text{фотона}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{6,80 \cdot 10^{-7}} = \frac{1,99 \cdot 10^{-25} \text{ Дж} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}}{6,80 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 2,93 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} \quad \mathbf{1,0 \text{ балл}}$$

**Всего: 1,25 балла**

---

1-7. Какое минимальное количество фотонов потребуется для синтеза одной молекулы глюкозы при длине волны света 680 нм?

Энергия солнечной радиации для синтеза одной молекулы равна:

$$E_{\text{солнечной радиации}} = \frac{\Delta H}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{+ 2802,8 \text{ кДж}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 4,66 \cdot 10^{-21} \text{ кДж} \cdot \text{молекула}^{-1} \quad \mathbf{1,0 \text{ балл}}$$

Перевод энергии одного фотона Дж → кДж :

$$2,93 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3} = 2,93 \cdot 10^{-22} \text{ кДж} \cdot \text{с}^{-1}$$

**0,25 баллов**

Число фотонов:  $\frac{4,66 \cdot 10^{-21}}{2,93 \cdot 10^{-22}} \approx 16$  фотонов

**1,0 балл**

**Всего: 2,25 баллов**

---

1-8. Но с учетом рассеяния и поглощения солнечной энергии для синтеза одной молекулы, по данным научных исследований, **требуется 60 фотонов** с длиной волны 680 нм. Учитывая эти данные, рассчитайте эффективность фотосинтеза  $\eta (\Delta G^0, \lambda)$  при длине волны света 680 нм по формуле:

$$\frac{\Delta G^0}{\text{Энергия фотонов, необходимая для получения 1 моль глюкозы}} \times 100\%$$

- 1) Энергия фотонов, необходимая для получения 1 моль глюкозы  
 $E_{\text{фотонов}} = 60 \text{ фотонов} \cdot 2,93 \cdot 10^{-22} \text{ кДж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} =$   
 $= 1,058 \cdot 10^4 \text{ кДж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$  **1,0 балл**
- 2) Эффективность фотосинтеза:  
 $\eta (\Delta G^0, \lambda) = \frac{2880 \text{ кДж}}{1,058 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}} \cdot 100\% = 27,22 \%$  **1,0 балл**

**Всего: 2,0 балла**

---

1-9. В результате фотосинтеза на земле в растениях в год аккумулируется  $1,26 \cdot 10^{19}$  кДж солнечной энергии. Рассчитайте массу (кг) глюкозы, которая синтезируется в год в растениях нашей планеты, используя рассчитанное Вами значение энергии Гиббса ( $\Delta G^0$ ).

- 1) Рассчитываем количество вещества глюкозы:  
2880 кДж требуется для синтеза 1 моль глюкозы  
 $1,26 \cdot 10^{19} \text{ кДж} \quad - \quad \text{х моль глюкозы}$
- $n (\text{глюкозы}) = 1,26 \cdot 10^{19} \text{ кДж} \times \frac{1 \text{ моль } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{2880 \text{ кДж}} = 4,38 \cdot 10^{15} \text{ моль}$  **1,0 балл**
- 2) Рассчитываем массу глюкозы (кг):  
 $m (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 4,38 \cdot 10^{15} \text{ моль} \times 180 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 10^{-3} (\text{кг}) = 7,88 \cdot 10^{14} \text{ кг}$  **1,0 балл**

**Всего: 2,0 балла**

---

1-10. Рассчитайте ежегодное удаление из тропосферы углекислого газа зеленой биомассой Земли, в единицах (ppm): 1 г  $\text{CO}_2$  /  $10^3$  кг воздуха в тропосфере. Учтите, что масса воздуха, окружающего Землю равна  $5,0 \cdot 10^{15}$  кг и 80% этой массы приходится на тропосферу Земли.

- 1) Рассчитываем массу воздуха в тропосфере Земли:  
 $m_{\text{воздуха в тропосфере}} = 5,0 \cdot 10^{15} \text{ кг} \cdot 0,80 = 4,0 \cdot 10^{15} \text{ кг}$  **0,25 балла**
- 2) Рассчитаем массу (г) углекислого газа, которая ежегодно удаляется из атмосферы Земли, используя расчеты в задании 1-9:

**$4,38 \cdot 10^{15}$  моль** глюкозы синтезируется в год (согласно расчетам 1-9), следовательно, для синтеза такого количества глюкозы требуется, согласно уравнению реакции 6 моль  $\text{CO}_2$ .

$m (\text{CO}_2)_{\text{атмосфера}} = (6 \cdot 4,38 \cdot 10^{15}) \text{ моль} \cdot 44 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 1,16 \cdot 10^{18} \text{ г}$  **1,0 балл**

3) Рассчитаем массу углекислого газа, удаляемого ежегодно из тропосферы Земли

$$m(\text{CO}_2)_{\text{тропосфера}} = \frac{4,0 \cdot 10^{15} \text{ кг}}{5,0 \cdot 10^{15} \text{ кг}} \times 1,16 \cdot 10^{18} \text{ г} = 9,28 \cdot 10^{17} \text{ г} \quad 0,75 \text{ балл}$$

4) Рассчитаем число единиц (ppm) удаления углекислого газа из тропосферы Земли в год:

$$N(\text{ppm}) = \frac{1,0 \cdot 10^3 \text{ кг}}{4,0 \cdot 10^{15} \text{ кг}} \times 9,28 \cdot 10^{17} \text{ г} = 2,32 \cdot 10^5 \text{ (CO}_2 \text{ г / } 10^3 \text{ кг воздуха (троп.))}$$

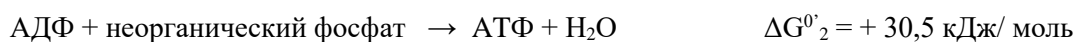
**1,0 балл**

**Всего: 3,0 балла**

---

### **Биологическое окисление глюкозы**

Накопленная химическая энергия (запасная энергия) в связях органических молекул в результате фотосинтеза может высвобождаться в результате их окисления. 60% выделившейся запасной энергии  $(\Delta G^0)_1 = -2886 \text{ кДж/моль}$  при полном окислении глюкозы в организме человека используется для теплопродукции и 40% расходуется на синтез АТФ  $(\Delta G^0)_2$  по приведенной ниже схеме:



где,  $\Delta G^0$  – изменение стандартной энергии Гиббса при рН = 7,0

1-11. Используя приведенные выше значения изменений энергии Гиббса двух реакций: окисления глюкозы и фосфорилирования АДФ, рассчитайте, сколько молекул АТФ может образоваться при полном окислении 1,0 моль глюкозы в клетке?

1) Количество запасной энергии, которое используется для синтеза АТФ равно:

$$\Delta G^0_{\text{синтез АТФ}} = (-2886) \cdot 0,40 = - 1154,4 \text{ кДж} \quad 0,5 \text{ баллов}$$

2) Количество моль АТФ, которое может синтезироваться из 1154,4 кДж запасной энергии:

$$n(\text{АТФ}) = \frac{1154,4 \text{ кДж}}{30,5 \text{ кДж}} = 37,85 \text{ моль} \quad 0,5 \text{ баллов}$$

3) Рассчитаем число молекул АТФ:

$$N(\text{АТФ}) = N_A \cdot n(\text{АТФ});$$

$$N(\text{АТФ}) = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ (молекул)} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 37,85 \text{ моль} = 2,28 \cdot 10^{25} \text{ молекул} \quad 0,5 \text{ баллов}$$

**Всего: 1,5 балла**

---

1-12. Электрохимическое окисление глюкозы до углекислого газа и воды может быть использовано в гальваническом элементе (топливном элементе). Рассчитайте электродвижущую силу (э.д.с.) при стандартных условиях данного топливного элемента, используя в расчетах свободную энергию Гиббса, значение постоянной Фарадея:  $23 \text{ ккал} \cdot \text{вольт}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ , и переводную шкалу:  $1 \text{ кДж} = 0,239 \text{ ккал}$

Для расчета э.д.с. воспользуемся формулой:

$$\Delta G^0 = -z F \Delta E^0$$

**0,5 балла**

Где

$z$  – число электронов, переносимых в окислительно-восстановительных полуреакциях

$F$  - число Фарадея  $23 \text{ ккал} \cdot \text{вольт}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

$\Delta E^0$  – э.д.с. гальванического элемента

$\Delta G^0$  – изменение свободной энергии Гиббса при стандартных условиях

$$\Delta E^0 = - \frac{\Delta G^0 \cdot 0,239 \text{ ккал}}{z F} = - \frac{(-2880) \cdot 0,239 \text{ ккал} \cdot \text{моль}^{-1}}{24 \cdot 23 \text{ ккал} \cdot \text{вольт}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}} = +1,25 \text{ В} \quad \mathbf{1,0 \text{ балл}}$$

*Пояснения:*

$\Delta G^0$  – свободная энергия Гиббса, рассчитанная в задаче 1-4 для фотосинтеза, но взятая с противоположным знаком ( $-2880 \text{ кДж/ моль}$ )

24 – число электронов, рассчитанное в задаче 1-1 для фотосинтеза, но также верное и для полного окисления глюкозы.

**Всего: 1,5 балла**

---