

Задача 1. Элемент утренней звезды

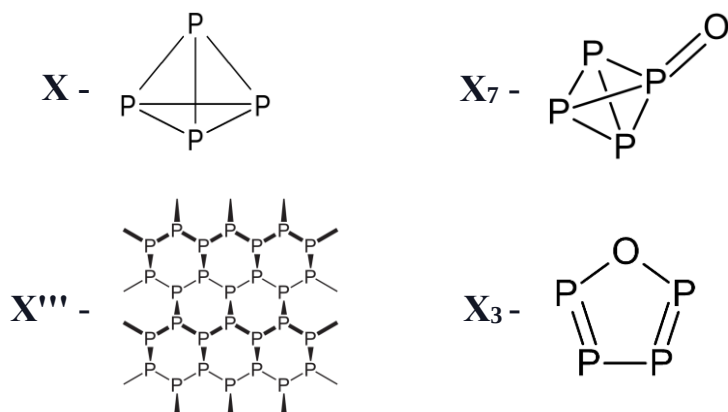
1. Элемент **X** в данном контексте — это фосфор (P). Название происходит от греческого слова "φωσφόρος" (phosphoros), что означает "несущий свет". Это связано с тем, что белый фосфор светится в темноте при окислении на воздухе, что напоминает утреннюю звезду (Венеру).

Таким образом, зашифрованный элемент и вещества:

X - P _{бел}	X₁ - P ₂	X₆ - POCl ₃
X' - P _{кр}	X₂ - P ₂ O	X₇ - P ₄ O
X'' - P _{мет}	X₃ - P ₄ O	X₈ - P ₄ O ₆
X''' - P _{чер}	X₄ - P ₂ C ₁₂ H ₁₆	X₉ - P ₄ O ₈
??? - Ca ₃ (PO ₄) ₂	X₅ - P ₄ O ₁₀	

2. Тривиальные названия аллотропных модификаций: **белый фосфор, металлический фосфор, красный фосфор, чёрный фосфор**.

Структурные формулы веществ:



3-4. Реакция образования **X₄** названа в честь **Дильса - Альдера**.

X'' имеет **чёрную** окраску.

5. **P₄O (X₇)** может существовать в водном растворе практически неограниченно долго.

Система оценивания:

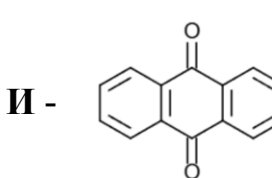
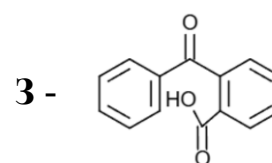
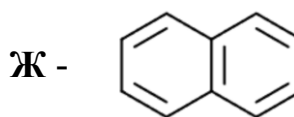
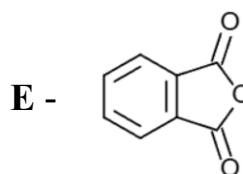
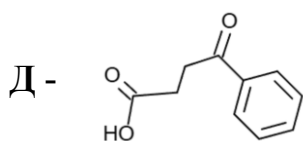
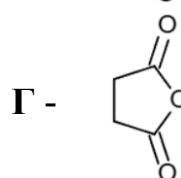
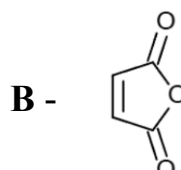
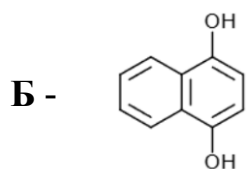
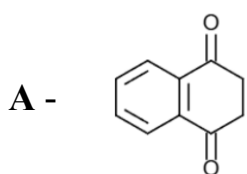
1. Формулы соединений X, X', X'', X''', ???, X ₁ -X ₉ <i>по 1 баллу</i>	14 баллов
2. Тривиальные названия аллотропных модификаций фосфора <i>по 1 баллу</i>	3 балла
Структурные формулы <i>по 1 баллу</i>	4 балла
3. Окраска вещества X''	1 балл
4. Название реакции	1 балл
5. Формула оксида	2 балла
ИТОГО	25 баллов

Задача 2. Гелицены

1. Окисление бензола на ванадий-оксидном катализаторе приводит к малеиновому ангидриду **В**, который восстанавливают водородом до янтарного ангидрида **Г**. Ацилирование бензола янтарным ангидридом по Фриделю-Крафтсу приводит к соответствующей кислоте **Д**, которая далее циклизуется с получением дикетона **А**. **Б** – соответствующий фенол. Углеводород **Ж**, родственник бензолу, – нафталин, что подтверждается молярной массой:

$$M_{\text{Ж}} = D_{H_2} M_{H_2} = 64 \cdot 2 = 128 = 12 \cdot 10 + 8 \text{ г/моль.}$$

А, **Б** и **Ж** при окислении на ванадий-оксидном катализаторе позволяет получить фталевый ангидрид **Е**. Аналогично описанным превращениям, ацилирование бензола **Е** приводит к кислоте, которая циклизуется в дикетон **И**.



2. Предпочтение к таутомеру **Б** можно отдать в виду формального наличия (или большей доли) ароматичности в его структуре.

Гелицены образуют энантиомеры ввиду аксиальной хиральности, или спиральности молекулы.

Система оценивания:

- | | |
|--|------------|
| 1. Формулы соединений А-И по 2,5 балла | 22,5 балла |
| 2. Ответ на 1-й вопрос 1 балл | 2,5 баллов |
| Ответ на 2-й вопрос 1,5 балла | |

ИТОГО 25 баллов

Задача 3. Радиоуглеродное датирование в МФТИ

1. Чтобы вывести формулу для константы распада k , начнем с уравнения для радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-kt}$$

Период полураспада $T_{1/2}$ — это время, за которое количество атомов уменьшается вдвое. Таким образом, через один период полураспада:

$$N = \frac{N_0}{2}$$

Подставим это в уравнение радиоактивного распада:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-kT_{1/2}}$$

Разделим обе части на N_0 :

$$\frac{1}{2} = e^{-kT_{1/2}}$$

Возьмем натуральный логарифм от обеих сторон:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -kT_{1/2}$$

Так как $\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln(2)$, то:

$$-\ln(2) = -kT_{1/2}$$

Отсюда: $k = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{5730} = 1,21 \cdot 10^{-4}$

2. В атмосфере Земли соотношение ^{14}C к общему количеству углерода составляет примерно $1 \cdot 10^{-10} \%$. В образце костных останков текущее соотношение ^{14}C составляет $9,08 \cdot 10^{-11} \%$. Перепишем уравнение для нахождения времени:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt} \rightarrow \frac{9,08 \cdot 10^{-11}}{1 \cdot 10^{-10}} = e^{-kt}$$

Применим логарифмирование: $\ln\left(\frac{9,08 \cdot 10^{-11}}{1 \cdot 10^{-10}}\right) = -kt$

Отсюда $t = -\frac{\ln\left(\frac{9,08 \cdot 10^{-11}}{1 \cdot 10^{-10}}\right)}{k} = 797$ лет

3. Рассчитаем количество атомов C^{14} в 1 кг естественного углерода:

$$m_{\text{C}^{14}} = m_{\text{C}} \cdot \omega = 1000 \cdot \frac{10^{-10}}{100} = 10^{-9} \text{ г}$$

$$N_{\text{C}^{14}} = N_A \cdot n_{\text{C}^{14}} = 6 \cdot 10^{23} \cdot \frac{10^{-9}}{14} = 4,3 \cdot 10^{13} \text{ штук}$$

Количество распавшегося углерода — количество распадов N — это разность между исходным N_0 и конечным числом N_t атомов C^{14} . При $t = 1$ с, получаем выражение для радиоактивности углерода-14:

$$N = N_0(C^{14}) - N_t(C^{14}) = N_0(C^{14}) - N_0(C^{14}) \cdot e^{-kt} = 4,3 \cdot 10^{13} \cdot \left(1 - e^{-1,21 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}}\right) = 165 \text{ Бк}$$

4. Ускорительная масс-спектрометрия позволяет измерять соотношение ^{14}C к стабильным изотопам углерода до $10^{-13} \%$. В атмосфере Земли соотношение ^{14}C к общему количеству углерода составляет примерно $10^{-10} \%$.

Перепишем уравнение для нахождения времени t :

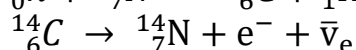
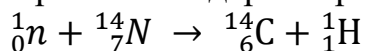
$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt} \rightarrow \frac{10^{-13}}{1 \cdot 10^{-10}} = e^{-kt}$$

Применим логарифмирование:

$$\ln\left(\frac{10^{-13}}{1 \cdot 10^{-10}}\right) = -kt \rightarrow \ln(10^{-3}) = -kt \rightarrow t = -\frac{\ln(10^{-3})}{k}$$

$$\text{Подставим значения: } t = -\frac{\ln(10^{-3})}{k} = -\frac{\ln(10^{-3})}{1,21 \cdot 10^{-4}} \approx 57088 \text{ лет}$$

5. Уравнения ядерных реакций:

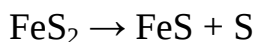


Система оценивания:

1. Константы распада по 2,5 балла	5 баллов
2. Возраст образца	5 баллов
3. Радиоактивность углерода	5 баллов
4. Возраст образца	5 баллов
5. Уравнения двух ядерных реакций по 2,5 балла	5 баллов
ИТОГО	25 баллов

Задача 4. Об одном известном металле

1. Определить металл, зашифрованный в задаче, можно несколькими путями. Наиболее легкий из них – обратить внимание на минерал вещества **A**, который известен под названием «золото дураков». Это название – тривиальное название минерала пирита FeS_2 . Подтвердим нашу догадку при помощи расчёта потери массы при нагревании вещества **A**:



Если нагревать 1 моль пирита, или 120 г вещества, получим 1 моль сульфида железа (II), или же 88 г продукта. Потеря массы составляет:

$\frac{120-88}{120 \div 100} = 26,6\%$, что соответствует условию задачи. Таким образом, после расшифровки цепочки превращений, получаем следующие вещества:

X – Fe

A – FeS_2

B – FeS

C – FeI_2

D – $\text{Fe}(\text{CO})_5$

E – $\text{Fe}_3(\text{CO})_{12}$

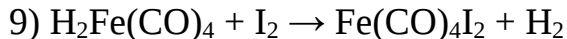
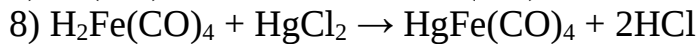
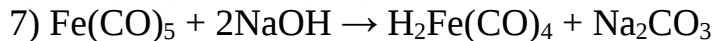
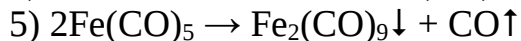
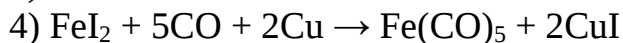
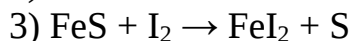
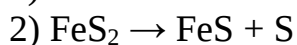
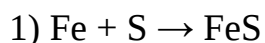
F – $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$

G – $\text{H}_2\text{Fe}(\text{CO})_4$

H – $\text{Fe}(\text{CO})_4\text{I}_2$

I – $\text{HgFe}(\text{CO})_4$

2. Уравнения реакций:



Система оценивания:

- | | |
|--|------------------|
| 1. Вещества X, A-I по 1,5 балла | 15 баллов |
| 2. Уравнения реакций 1-3, 5-9 по 1 баллу | 10 баллов |
| Уравнение реакции 4 2 балла | |

ИТОГО 25 баллов