

Пермский край  
2025-2026 учебный год  
**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ**  
**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**11 КЛАСС**

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР**

*Представлен один из возможных вариантов решения*

**Задача 1**

- При 20°C:  $k_{20} = 0,756$  (75,6 г/100 г воды)
- При 0°C:  $k_0 = 0,439$  (43,9 г/100 г воды)
- Первый осадок (20°C):  $m_1 = 72,76$  г, гексагидрат  $K_6 = 0,8301$
- Второй осадок (0°C):  $m_2 = 120,48$  г, наонагидрат  $K_9 = 0,7650$

Найти:  $k_{45}$  и массу исходного раствора  $M$ .

Пусть в исходном растворе при 45°C:

$x$  — масса соли,  $y$  — масса воды,  $M = x + y$ .

$k_{45} = x/y$ .

**Условие для первого охлаждения (20°C)**

Выпал гексагидрат 72,76 г:

$a_1 = 0,8301 \cdot 72,76 \approx 60,39$  г соли

$b_1 = 72,76 - 60,39 = 12,37$  г воды

После выпадения:

Соль:  $x - 60,39$

Вода:  $y - 12,37$

Отношение = 0,756:

$$\frac{x - 60,39}{y - 12,37} = 0,756$$

$$(1) x - 60,39 = 0,756y - 9,33972$$

$$x - 0,756y = 51,05028 \dots \text{ (уравнение 1)}$$

**Условие для второго охлаждения (0°C)**

Выпал наонагидрат 120,48 г:

$a_2 = 0,7650 \cdot 120,48 \approx 92,1672$  г соли

$b_2 = 120,48 - 92,1672 = 28,3128$  г воды

После выпадения:

Соль:  $x - 92,1672$

Вода:  $y - 28,3128$

Отношение = 0,439:

$$\frac{x - 92,1672}{y - 28,3128} = 0,439$$

$$(2) x - 92,1672 = 0,439y - 12,4293$$

$$x - 0,439y = 79,7379 \dots$$

**Решаем систему**

Вычтем (1) из (2):

$$(x - 0,439y) - (x - 0,756y) = 79,7379 - 51,05028$$

$$0,317y = 28,68762$$

$$y \approx 90,50 \text{ г воды}$$

Из (2):  $x = 79,7379 + 0,439 \cdot 90,50$   
 $x \approx 79,7379 + 39,7295 \approx 119,4674$  г соли.

Находим  $k_{45}$  и  $M$

$$k_{45} = \frac{x}{y} = \frac{119,4674}{90,50} \approx 1,320$$

Растворимость при 45°C: **132,0 г на 100 г воды.**

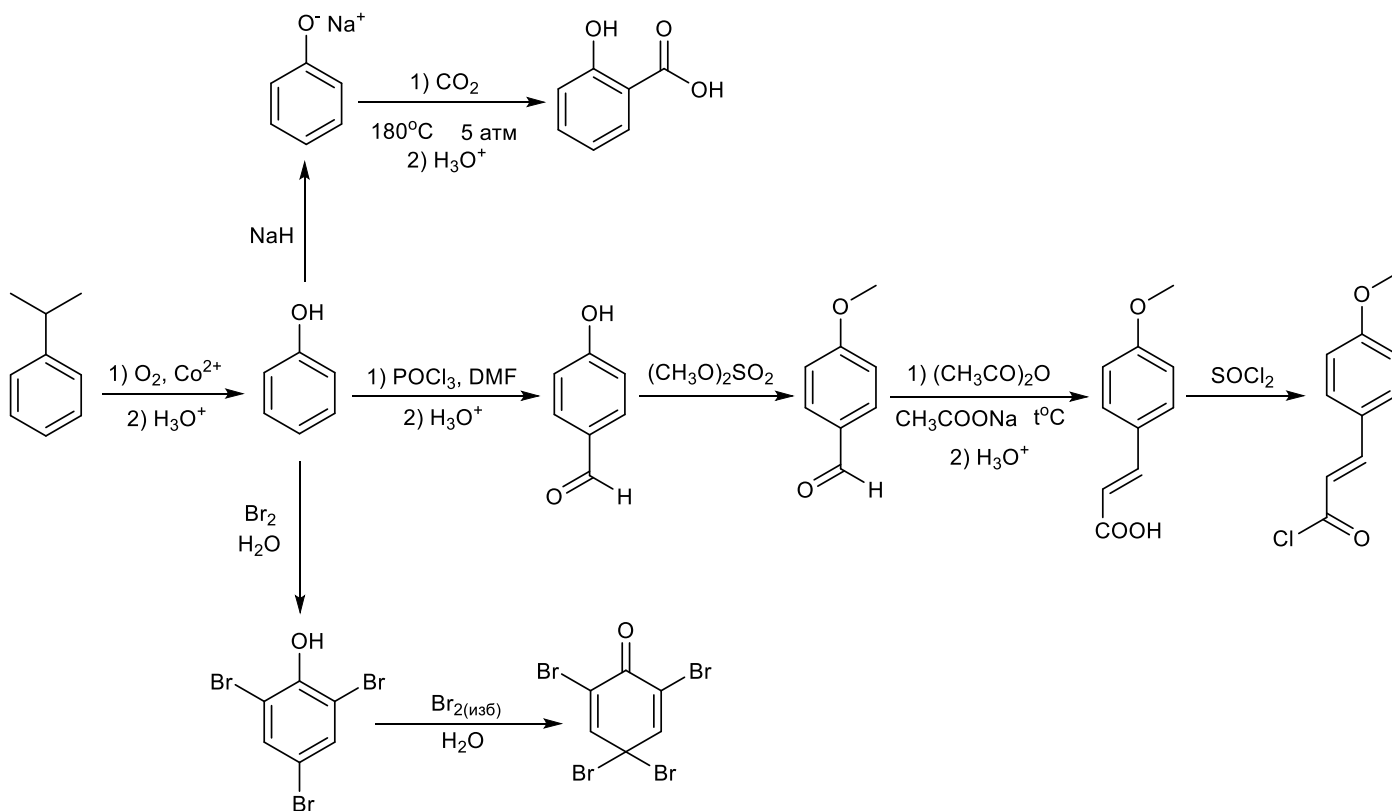
Масса исходного раствора:

$$M = x + y = 119,4674 + 90,50 \approx 209,97 \approx 210,0 \text{ г.}$$

#### Разбалловка

Составление условия для первого осаждения	2 б.
Составление условия для второго осаждения	2 б.
Решение полученной системы уравнений	2 б.
Расчет растворимости при 45°C	2 б.
Расчет массы исходного раствора	2 б.
<b>ИТОГО</b>	<b>10 б.</b>

#### Задача 2



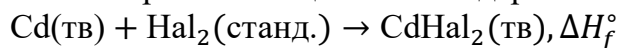
#### Разбалловка

Определение структурных формул веществ А–К	10 x 1 б. = 10 б.
<b>ИТОГО</b>	<b>10 б.</b>

#### Задача 3

**Общий вид цикла Борна–Габера для  $CdHal_2$**

Исходная реакция образования из простых веществ в стандартных состояниях:



Разобьём на стадии:

1. **Атомизация кадмия** (тв  $\rightarrow$  газ):



Дано:

$$\Delta H_{\text{плавл}}(\text{Cd}) = 6.11 \text{ кДж/моль}, \Delta H_{\text{исп}}(\text{Cd}) = 59.1 \text{ кДж/моль}$$

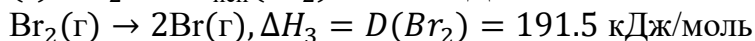
$$\Delta H_{\text{sub}}(\text{Cd}) = 6.11 + 59.1 = 65.21 \text{ кДж/моль}$$

2. **Диссоциация галогена** в газовые атомы:

Для Br<sub>2</sub>: жидкость → газ → атомы:



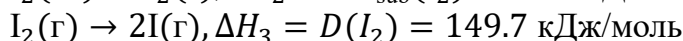
$$(\text{г}), \Delta H_2 = \Delta H_{\text{исп}}(\text{Br}_2) = 29.7 \text{ кДж/моль}$$



На 1 атом Br:  $221.2/2 = 110.6 \text{ кДж/моль атомов.}$

На 2 атома Br в CdBr<sub>2</sub>: 221.2 кДж.

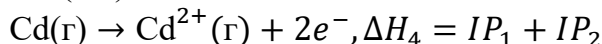
Для I<sub>2</sub>: твёрдый → газ → атомы:



Итого для 1 моль I<sub>2</sub>:  $63.7 + 149.7 = 213.4 \text{ кДж.}$

На 2 атома I в CdI<sub>2</sub>: 213.4 кДж.

3. **Ионизация кадмия** (газ):



$$IP_1 = 867.2, IP_2 = 1630.6 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_4 = 867.2 + 1630.6 = 2497.8 \text{ кДж/моль}$$

4. **Присоединение электронов к атомам галогена** (с учётом знака):

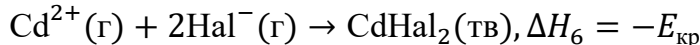


Для 2Hal:  $-2 \times EA$

Br:  $EA = 325.6 \text{ кДж/моль}$

I:  $EA = 294.2 \text{ кДж/моль}$

5. **Образование кристалла** из газовых ионов:



По условию  $E_{\text{кр}} > 0$  — энергия решётки (положительная).

2. **Термохимическое уравнение цикла**

$$\Delta H_f = \Delta H_{\text{sub}}(\text{Cd}) + [\Delta H_{\text{фаз.перех.}}(\text{Hal}_2) + D(\text{Hal}_2)] + (IP_1 + IP_2) - 2EA - E_{\text{кр}}$$

Отсюда:

$$E_{\text{кр}} = \Delta H_{\text{sub}}(\text{Cd}) + [\Delta H_{\text{фаз.перех.}}(\text{Hal}_2) + D(\text{Hal}_2)] + (IP_1 + IP_2) - 2EA - \Delta H_f$$

3. **Расчёт для CdBr<sub>2</sub>**

$\Delta H_f = -315.3 \text{ кДж/моль}$  (экзотермично, знак «-»).

$$E_{\text{кр}} = 65.21 + (29.7 + 191.5) + 2497.8 - 2 \times 325.6 - (-315.3)$$

$$= 65.21 + 221.2 + 2497.8 - 651.2 + 315.3$$

Считаем по шагам:

$$65.21 + 221.2 = 286.41$$

$$286.41 + 2497.8 = 2784.21$$

$$2784.21 - 651.2 = 2133.01$$

$$2133.01 + 315.3 = 2448.31$$

$$E_{\text{кр}}(\text{CdBr}_2) = 2448.3 \text{ кДж/моль}$$

4. **Расчёт для CdI<sub>2</sub>**

$$\Delta H_f = -204.2 \text{ кДж/моль}$$

$$E_{\text{кр}} = 65.21 + (63.7 + 149.7) + 2497.8 - 2 \times 294.2 - (-204.2)$$

$$= 65.21 + 213.4 + 2497.8 - 588.4 + 204.2$$

$$E_{\text{кр}}(\text{CdI}_2) = 2392.2 \text{ кДж/моль}$$

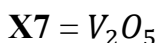
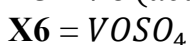
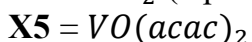
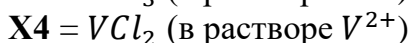
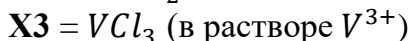
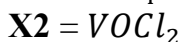
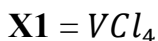
$E_{\text{кр}}(\text{CdBr}_2) = 2448.3 \text{ кДж/моль}, E_{\text{кр}}(\text{CdI}_2) = 2392.2 \text{ кДж/моль}$
---

### Разбалловка

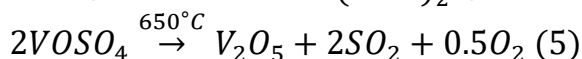
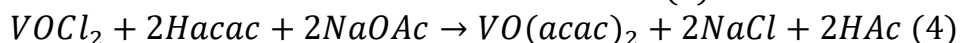
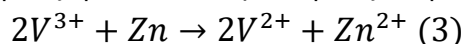
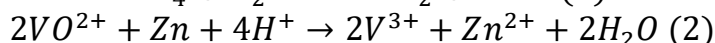
Написание термохимической реакции взаимодействия кадмия с галогенами	1 б.
Написание основных стадий цикла Борна-Габера для галогенидов кадмия	5 x 0,5 б. = 2,5 б.
Составление термохимического уравнения цикла	2,5 б.
Расчет энергии кристаллической решетки для иодида и бромида кадмия	2 x 2 б. = 4 б.
<b>ИТОГО</b>	10 б.

#### Задача 4

##### Итоговые вещества



##### Уравнения реакций



### Разбалловка

Определение веществ X1–X7	7 x 1 б. = 7 б.
Подтверждение X7 расчетом	0,5 б.
Уравнения реакций (1)–(5)	5x0,5 б. = 2,5 б.
<b>ИТОГО</b>	20 б.

#### Задача 5

##### 1. Обозначения и схема

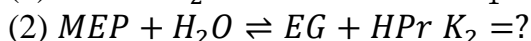
Этиленгликоль (EG):  $HO - CH_2 - CH_2 - OH$

Пропионовая кислота (HPr)

Дипропионат (DEP):  $PrO - CH_2 - CH_2 - OPr$

Монопропионат (MEP):  $HO - CH_2 - CH_2 - OPr$

Реакции гидролиза (в кислой среде — равновесие):



##### 2. Исходные данные

$$n_{DEP}^0 = 3 \text{ моль}$$

$$n_{H_2O}^0 = 1.7 \text{ моль}$$

$$n_{MEP}^0 = n_{EG}^0 = n_{HPr}^0 = 0$$

В равновесии:  $n_{EG} = n_{MEP}$  (по условию).

##### 3. Введём переменные

Пусть  $x$  — количество DEP, прореагировавшее по реакции (1).

Пусть  $y$  — количество MEP, прореагировавшее по реакции (2).

Тогда:

Вещество	Исходно	Реакция (1)	Реакция (2)	Равновесие
DEP	3	-x		3 - x
H <sub>2</sub> O	1.7	-x	-y	1.7 - x - y
MEP	0	+x	-y	x - y
HPr	0	+x	+y	x + y
EG	0		+y	y

Условие:  $n_{EG} = n_{MEP} \Rightarrow y = x - y \Rightarrow x = 2y$ .

#### 4. Уравнение для $K_1$

$$K_1 = \frac{[MEP][HPr]}{[DEP][H_2O]}$$

В условиях реакции объём постоянный, можно использовать моли.

$$K_1 = \frac{(x - y)(x + y)}{(3 - x)(1.7 - x - y)}$$

Подставляем  $x = 2y$ :

$$\begin{aligned}
 x - y &= 2y - y = y \\
 x + y &= 2y + y = 3y \\
 3 - x &= 3 - 2y \\
 1.7 - x - y &= 1.7 - 2y - y = 1.7 - 3y \\
 K_1 &= \frac{y \cdot 3y}{(3 - 2y)(1.7 - 3y)} = \frac{3y^2}{(3 - 2y)(1.7 - 3y)}
 \end{aligned}$$

$K_1 = 0.45$ :

$$0.45 = \frac{3y^2}{(3 - 2y)(1.7 - 3y)}$$

#### 5. Решение уравнения

Умножаем:

$$0.45(3 - 2y)(1.7 - 3y) = 3y^2$$

Раскроем:

$$(3 - 2y)(1.7 - 3y) = 5.1 - 9y - 3.4y + 6y^2 = 5.1 - 12.4y + 6y^2$$

Уравнение:

$$\begin{aligned}
 0.45(5.1 - 12.4y + 6y^2) &= 3y^2 \\
 2.295 - 5.58y + 2.7y^2 &= 3y^2 \\
 2.295 - 5.58y + 2.7y^2 - 3y^2 &= 0 \\
 2.295 - 5.58y - 0.3y^2 &= 0
 \end{aligned}$$

Умножим на 10:

$$22.95 - 55.8y - 3y^2 = 0$$

Умножим на -1:

$$3y^2 + 55.8y - 22.95 = 0$$

Делим на 3:

$$y^2 + 18.6y - 7.65 = 0$$

Дискриминант:

$$D = 18.6^2 + 4 \cdot 7.65 = 345.96 + 30.6 = 376.56$$

$$\sqrt{D} \approx 19.405$$

$$y = \frac{-18.6 + 19.405}{2} \approx 0.4025 \text{ (второй корень отрицательный).}$$

$$\text{Тогда } x = 2y \approx 0.805.$$

#### 6. Равновесные количества

$$n_{DEP} = 3 - x = 3 - 0.805 = 2.195 \text{ моль}$$

$$n_{H_2O} = 1.7 - x - y = 1.7 - 0.805 - 0.4025 = 0.4925 \text{ моль}$$

$$n_{MEP} = x - y = 0.805 - 0.4025 = 0.4025 \text{ моль}$$

$$n_{EG} = y = 0.4025 \text{ моль}$$

$$n_{HPr} = x + y = 0.805 + 0.4025 = 1.2075 \text{ моль}$$

#### 7. Константа $K_2$

$$K_2 = \frac{[EG][HPr]}{[MEP][H_2O]} = \frac{y \cdot (x + y)}{(x - y)(1.7 - x - y)}$$

Подставим числа:

$$K_2 = \frac{0.4025 \cdot 1.2075}{0.4025 \cdot 0.4925} = \frac{1.2075}{0.4925} \approx 2.452$$

#### Ответ:

1. Равновесные количества (моль):

DEP  $\approx$  2.195, H<sub>2</sub>O  $\approx$  0.4925, MEP  $\approx$  0.4025, EG  $\approx$  0.4025, HPr  $\approx$  1.2075.

2.  $K_2 \approx 2.45$ .

#### Разбалловка

Написание уравнений (1) и (2)	2 x 1 б. = 2 б.
Составление выражений для констант $K_1$ и $K_2$	2 x 0,5 б. = 1 б.
Расчет равновесных количеств веществ	5 x 1 б.
Определение константы $K_2$	2 б.
<b>ИТОГО</b>	<b>10 б.</b>