МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Портнова Марианна Сергеевна**

Класс: **11**

Технический балл: **99**

Дата проведения: **27 февраля 2022 года**

Проверяющий	Кабанова Е.Г.
Шифр работы	9614630
1 задание	Все верно **8 б**
2 задание	Фенолят калия диссоциирует полностью (-1 б) **15 б**
3 задание	Все верно **16 б**
4 задание	Все верно **20 б**
5 задание	Все верно **20 б**
6 задание	Все верно **20 б**
Всего	**99**

черновик 1

№1

пусть кислородсодержащее вещество: $C_xH_yO_z$,
42ē, 32n.

пусть в веществе:

электронов: - порядк. номер

6x – в атомах углерода
1y – в атомах водорода
8z – в атомах кислорода

нейтронов: м - порядк. номер

6x – в атомах углерода
0y – в атомах водорода
8z – в атомах кислорода

$$\begin{cases} 6x + y + 8z = 42 \\ 6x + 8z = 32 \end{cases} \Rightarrow y = 42 - 32 = 10$$

пусть $x = 1$ $y = 10$ $z = \frac{13}{4}$ – не удовл. $CO_2(\overset{+4\ -2}{CO})_8^{2+}$

$x = 2$ $y = 10$ $z = \frac{5}{2}$ – не удовл.

$x = 3$ $y = 10$ $z = \frac{7}{4}$ – не удовл.

$x = 4$ $y = 10$ $z = 1$ – удовлетворяет.

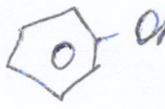
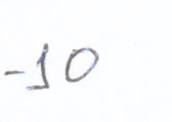
2 орг. вещ с эмпирической формулой $C_4H_{10}O$. Это одноатомный спирт и простой эфир.

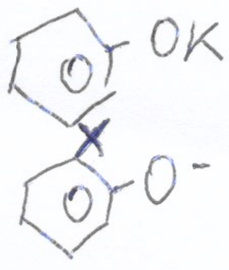
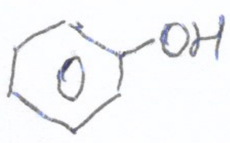
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$ и $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$

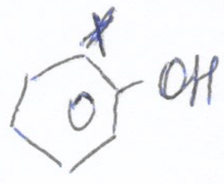
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH + CuO \rightleftharpoons CH_3-CH_2-CH_2-C{=}O{-}H + Cu\downarrow + H_2O$

медь выпадает в осадок.

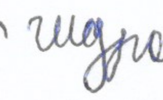
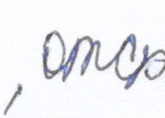
№2

мол. концентрация  -OK ?
pH = 11
$K_{дис}$ ( -OH) $= 10^{-10}$
V = 1л = const
a - ?

 -OK + $H_2O \rightleftharpoons$  -OH + KOH

-O$^-$ + K^+ + $H_2O \rightleftharpoons$  -OH + K^+ + OH^-

пусть было a моль фенолята K, в диссоциацию вступило X моль, тогда осталось a - X моль.

$$K_{гидролиза} = \frac{[\text{  }-OH]\cdot[OH^-]}{[\text{  }-O^-]} = \frac{X_{моль}\cdot X_{моль}}{a - X_{моль}} = \frac{X^2}{a - X}$$

$pH = -\lg[H^+] = 11$, отсюда $[H^+] = 10^{-11}$ моль/л $[H^+]\cdot[OH^-] = 10^{-14}$

$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-11}} = 10^{-3}$ моль/л $= X$

$K_{гидролиза} = \frac{10^{-14}}{K_{дисс.}} = \frac{10^{-14}}{10^{-10}} = 10^{-4}$ черновик 2

$\frac{x^2}{a-x} = \frac{10^{-14}}{K_{дисс}}$

$\frac{x^2}{a-x} = 10^{-4}$

$\frac{(10^{-3})^2}{a-10^{-3}} = \frac{10^{-4}}{1}$

$10^{-6} = 10^{-4} \cdot a - 10^{-7}$

$10^{-4} \cdot a = 10^{-6} + 10^{-7}$

$a = \frac{10^{-6}}{10^{-4}} + \frac{10^{-7}}{10^{-4}} = 10^{-2} + 10^{-3} = 0{,}01 + 0{,}001 = 0{,}011$ моль/л

№3

$2A \rightleftarrows B$

$V = 1$ л

$t = 30°C \Rightarrow T = 303K$

$B : A = 1{,}86 : 1$

$p = 1$ атм $= 101{,}3$ кПа

M смеси $= 75{,}9$ г/моль

$K_{гидрат} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{л}{моль \cdot мин}$

дано мольное соотношение $B : A = 1{,}86 : 1$

пусть было $1{,}86x$ моль B и $1x$ моль A $\Rightarrow$ в сумме было $1{,}86x + 1x = 2{,}86x$ смеси

$\varphi(A) = \frac{1x \text{ моль}}{2{,}86x \text{ моль}} = 0{,}35 = 35\%$

$\varphi(B) = \frac{1{,}86x \text{ моль}}{2{,}86x \text{ моль}} = 0{,}65 = 65\%$

уравнение мен.-Кл. $= pV = \nu RT$

$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \text{ кПа} \cdot 1 \text{ л}}{8{,}31 \cdot 303K} = 0{,}04$ моль

$\nu = \frac{m}{M}$

$M = \frac{m}{\nu}$

$m = \nu \cdot M$

$\nu(A) = 0{,}04 \text{ моль} \cdot 0{,}35 = 0{,}014$ моль (NO_2)

$\nu(B) = 0{,}04 \text{ моль} \cdot 0{,}65 = 0{,}026$ моль (N_2O_4)

$C(A) = \frac{\nu(A)}{V} = \frac{0{,}014 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0{,}014$ моль/л

$C(B) = \frac{\nu(B)}{V} = \frac{0{,}026 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0{,}026$ моль/л

NO_2 - ?

$2M(A) = M(B)$ - по уравнению реакции

M смеси $= \frac{m(A) + m(B)}{\nu(A) + \nu(B)} = \frac{\nu(A) \cdot M(A) + \nu(B) \cdot M(B)}{\nu(A) + \nu(B)} = 75{,}9$ г/моль

$\frac{0{,}014 \text{ моль} \cdot M(A) + 0{,}026 \text{ моль} \cdot M(B)}{0{,}04} = \frac{0{,}014 \cdot M(A) + 0{,}026 \cdot 2 \cdot M(A)}{0{,}04} =$

$= \frac{M(A) \cdot (0{,}014 + 0{,}052)}{0{,}04} = 75{,}9$ г/моль

$\frac{M(A) \cdot 0{,}066}{0{,}04} = 75{,}9$

$M(A) \cdot 0{,}066 = 3{,}036$

$M(A) = 46$ г/моль

$M(B) = 92$ г/моль

пусть вещество А — NO_2, а вещество В — N_2O_4

Задание 3

$2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$

$K_{скорость} = \frac{K_{прям}}{K_{обр}}$ ~~$\Rightarrow K_{обр} = \frac{K_{прям}}{K} =$~~

$K = \frac{K_{прям}}{K_{обр}} = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$

$K_{обр} = \frac{K_{прям}}{K} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \frac{л}{моль \cdot мин} \cdot 0{,}014^2 \frac{моль}{л}}{0{,}026 \frac{моль}{л}} = \frac{0{,}005 \cdot 1{,}96 \cdot 10^{-4}}{0{,}026} =$

$= 3{,}77 \cdot 10^{-5} мин^{-1} \frac{\cancel{л}}{моль \cdot мин} \cdot \frac{\cancel{моль}}{\cancel{л}} \cdot \frac{моль}{л}$ $\frac{моль}{л \cdot мин} \cdot \frac{л}{моль} =$

$18 - 60z + 46z = 15{,}9$

$-14z = -2{,}1$

$z = \frac{2{,}1}{14} =$

$1CuS^{-2} + 4H_2S^{+6}O_4 = 1Cu^{+6}SO_4 + 4S^{+4}O_2 + 4H_2O$

$S^{-2} - 8e^- = S^{+6}$ | 1

$S^{+6} + 2e^- = S^{+4}$ | 8 | 4

$3CH_2^{-2}=CH_2^{-2} + 2KMn^{+7}O_4 + 4H_2O = 3CH_2^{-1}(OH)-CH_2^{-1}(OH) + 2KOH + 2Mn^{+4}O_2$

$CH_3-CH^{-1}=CH_2^{-2} + KMn^{+7}O_4 + H_2O = CH_3-CH^0(OH)-CH_2(OH) + KOH + MnO_2$

$286x = 339 + 44x$

$242x = 339$

$x = 0{,}14$ моль

$1CuS^{+2}S^{-2} + 10HNO_3^{+5} = 1Cu(NO_3)_2 + 8NO_2 + 1H_2S^{+6}O_4 + 4H_2O$

$S^{-2} - 8e^- = S^{+6}$ | 1

$N^{+5} + 1e^- = N^{+4}$ | 8

$\frac{M+46}{2} = 53$

$M + 46 = 106$

$M = 60$

$CH_3-CH_2-CH_2OH$

C_2H_5OH

$M = 46$

$\rho = \frac{m}{M}$

$M = \frac{m}{\rho}$

$C = \frac{\rho}{V}$

$286x = 339 + 44x$

$242x = 339$

$x = 0{,}14$ моль

Чистовик 3

№ 4

Дано:

$C_nH_{2n+1}OH$

$C_xH_{2x+1}OH$

$m = 15,9г$

$t = 180°C \Rightarrow T = 453K$

H_2SO_4 конц.

$P = 101,3кПа$

$V = 11,15л$

$0,4M\ KMnO_4$

$$\overset{y\ моль}{C_nH_{2n+1}OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{t=180°C} \overset{y\ моль}{C_nH_{2n}\uparrow} + H_2O$$

$$\overset{z\ моль}{C_xH_{2x+1}OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{t=180°C} \overset{z\ моль}{C_xH_{2x}\uparrow} + H_2O$$

при внутримолекулярной дегидратации образовались газообразные алкены $\Rightarrow 1 < x \leq 4$; $1 < n \leq 4$.

по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{101,3кПа \cdot 11,15л}{8,31 \cdot 453K} = 0,3моль$$ смеси газов $z + y = 0,3$

$$M_{смеси\ спиртов} = \frac{m}{\nu} = \frac{15,9г}{0,3моль} = 53г/моль.$$ Делаем вывод, что $M_{1\ спирта} > 53$, $M_{2\ спирта} < 53$. Наименьшим подходящим 2 спиртом является этанол ($M = 46г/моль$).

$$\frac{M_{1\ спирта} + M_{2\ спирта}}{2} = 53 \qquad \frac{M_1 + 46}{2} = 53 \qquad M_1 = 60г/моль$$ – пропанол.

$$\begin{cases} 60y + 46z = 15,9 \\ y + z = 0,3 \end{cases} \qquad \begin{matrix} y = 0,3 - z \\ 60 \cdot (0,3 - z) + 46z = 15,9 \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} z = 0,15моль \\ y = 0,15моль \end{matrix}$$

$$\omega(этанола) = \frac{0,15моль \cdot 46г/моль}{15,9г} = 0,434 = 43,4\%$$

$$\omega(пропанола) = \frac{0,15моль \cdot 60г/моль}{15,9г} = 0,566 = 56,6\%$$

$$CH_3-CH_2OH \xrightarrow[H_2SO_4]{150°C} CH_2=CH_2\uparrow + H_2O$$

$$CH_3-CH_2-CH_2OH \xrightarrow[H_2SO_4]{150°C} CH_3-CH=CH_2\uparrow + H_2O$$

$$3\overset{0,15моль}{CH_2=CH_2} + 2KMnO_4 + 4H_2O \Rightarrow 3\underset{OH}{CH_2}-\underset{OH}{CH_2} + 2KOH + 2MnO_2$$

$$3\overset{0,15моль}{CH_3-CH=CH_2} + 2KMnO_4 + 4H_2O \Rightarrow 3CH_3-\underset{OH}{CH}-\underset{OH}{CH_2} + 2KOH + 2MnO_2$$

$$\nu(KMnO_4) = \frac{0,15}{3} \cdot 2 \cdot 2 = 0,2моль$$

$$V = \frac{\nu}{C} = \frac{0,2моль}{0,4моль/л} = 0,5л$$

Ответ: ω(этанола) = 43,4%

ω(пропанола) = 56,6%

$V(KMnO_4) = 0,5л$

№5 чистовик 4

Дано:
в каждом стакане 9,6 г CuS;
120 г 63% HNO_3
142,7 г 98% H_2SO_4
Δm – ?
m($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$)?
m стакана = const

I $\overset{0,1\text{ моль}}{CuS} + 10HNO_3 \Rightarrow Cu(NO_3)_2 + 8NO_2\uparrow + H_2SO_4 + 4H_2O$

II $\overset{0,1\text{ моль}}{CuS} + 4H_2SO_4 \Rightarrow CuSO_4 + 4SO_2\uparrow + 4H_2O$

$m(HNO_3) = 120г \cdot 0,63 = 75,6г$

$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{75,6г}{63г/моль} = 1,2моль$

$m(H_2SO_4) = 142,7г \cdot 0,98 = 139,846г$

$\nu(H_2SO_4) = \frac{m}{M} = \frac{139,846г}{98г/моль} = 1,427моль$

$\nu(CuS) = \frac{m}{M} = \frac{9,6г}{96г/моль} = 0,1моль \Rightarrow H_2SO_4$ и HNO_3 в избытке.

На m стаканов влияет выделившийся газ – NO_2 или SO_2.

осталось HNO_3 в I: 1,2моль – 1моль = 0,2моль

осталось H_2SO_4 во II: 1,427 – 0,4 = 1,027моль

$\nu(NO_2) = 0,8моль$ $m(NO_2) = \nu \cdot M = 0,8моль \cdot 46г/моль = 36,8г$

$\nu(SO_2) = 0,4моль$ $m(SO_2) = \nu \cdot M = 0,4моль \cdot 64г/моль = 25,6г$

m(I стакана) = 9,6г + 120г – 36,8г = 92,8г

m(II стакана) = 9,6г + 142,7г – 25,6г = 126,7г

$\Delta m = 126,7г - 92,8г = 33,9г$

добавлять $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ надо в 1 стакан, т.к. его масса меньше

I
① $Na_2CO_3 + Cu(NO_3)_2 \Rightarrow CuCO_3\downarrow + 2NaNO_3$
② $Na_2CO_3 + H_2SO_4 \Rightarrow Na_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$
③ $Na_2CO_3 + 2HNO_3 \Rightarrow 2NaNO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$

на массу стакана влияет выделившийся CO_2

126,7г = 92,8г (исходные) + m($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) – m(CO_2), при этом $\nu(CO_2) = \nu(Na_2CO_3)$, прореагировавшей с ним в ② и ③

m($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) = 33,9г + m(CO_2)

пусть было x моль $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, тогда m(CO_2) = 44x, m($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) = 286x

286x = 33,9 + 44x

242x = 33,9

x = 0,14 моль m($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) = 286 · 0,14 = 40,04г

Ответ: Δm = 33,9г
добавлять в 1 стакан 40,04г $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$

№ 6 чистовик 5

$A \xrightarrow{H_2SO_4} B\uparrow$ $B + Г$

$Б \xrightarrow{H_2SO_4} Г\uparrow$ $D_{смеси\ по\ O_2} = 0{,}875$

$M(смеси\ газов) = D \cdot M(O_2)$

$M(смеси\ газов) = 0{,}875 \cdot 32\ г/моль = 28\ г/моль$. Предположим, что оба газа имеют такую молярную массу. 28 г/моль – CO, C_2H_4, N_2; по условию подходят CO и C_2H_4. При этом одно из исходных веществ – кислота.

$$\overset{A}{HCOOH} \xrightarrow[H_2SO_4]{t} \overset{B}{CO}\uparrow + H_2O$$

А и Б – жидкие муравьиная кислота и этанол

$$\overset{Б}{CH_3-CH_2OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{t} \overset{Г}{CH_2=CH_2}\uparrow + H_2O$$

В и Г – газы с M = 28 г/моль – этен и угарный газ

$$CO + CH_2=CH_2 + H_2 \xrightarrow[p.]{кат.} CH_3-CH_2-\overset{Д}{C}(=O)-H$$

Д – жидкий альдегид – пропаналь

$$CH_3-CH_2-\overset{Д}{C}(=O)-H + 2CH_3-\overset{Б}{C}H_2OH \rightleftharpoons CH_3-CH_2-\overset{E}{C}H(O-CH_2-CH_3)_2 + H_2O$$

$$CH_3-CH_2-\overset{Д}{C}(=O)-H + 2Cu(OH)_2 \rightleftharpoons CH_3-CH_2-COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$$

$m(Cu_2O) = 21{,}6\ г \Rightarrow \nu(Cu_2O) = \frac{m}{M} = \frac{21{,}6\ г}{144\ г/моль} = 0{,}15\ моль = \nu(Д)$

$m(Д) = \nu \cdot M = 0{,}15\ моль \cdot 58\ г/моль = 8{,}7\ г$

вариант 1 чистовик 1

№1

Дано:
изомеры, содержат O, орган. вещ., разные классы
в молекуле 42ē и 32p̄

пусть кислородсодержащие органические вещества - изомеры имеют общую формулу $C_xH_yO_z$.
количество электронов - порядковый номер, нейтронов - Ar - порядковый номер.

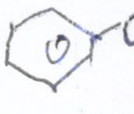
электронов в молекуле вещества:
6x - в атомах углерода
1y - в атомах водорода
8z - в атомах кислорода
в сумме - 42ē

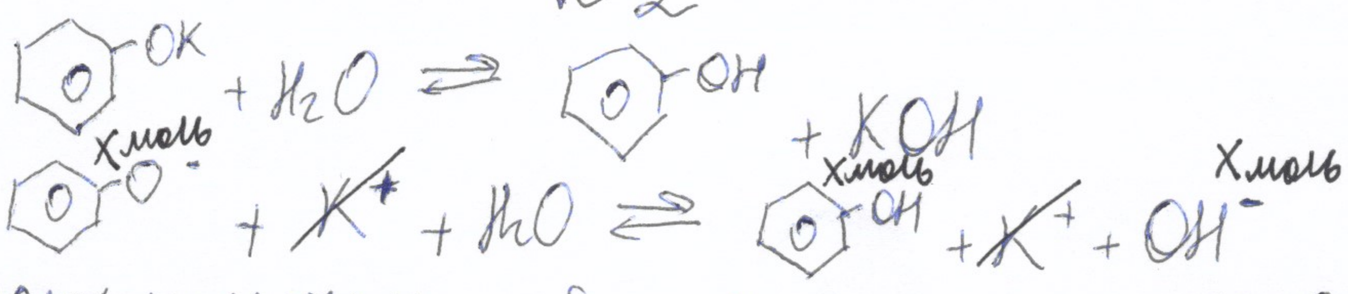
нейтронов в молекуле вещества:
6x - в атомах углерода
0y - в атомах водорода
8z - в атомах кислорода
в сумме - 32p̄.

составлю систему:
$$\begin{cases} 6x+y+8z=42 \\ 6x+8z=32 \end{cases} \qquad y=42-32=10$$

пусть $x=1, y=10 \Rightarrow z=\frac{13}{4}$ - не удовлетворяет, т.к. z - целое число атомов
пусть $x=2, y=10 \Rightarrow z=\frac{5}{2}$ - не удовлетворяет
пусть $x=3, y=10 \Rightarrow z=\frac{7}{4}$ - не удовлетворяет
пусть $x=4, y=10 \Rightarrow z=1$ - удовлетворяет.
получаем 2 изомера с эмпирической формулой $C_4H_{10}O$. Это одноатомный спирт и простой эфир.
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$ и $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$
спирт будет реагировать с CuO, выпадет осадок - Cu↓; простой эфир не реагирует.
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH + CuO \rightleftharpoons CH_3-CH_2-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{}} + Cu\downarrow + H_2O$

№2

Дано:
pH = 11
$K_{дисс}$ ( ) $= 10^{-10}$
возьмём V = 1л = const
мол. конц. () - ?



пусть изначально было a моль фенолята калия, продиссоциировало Хмоль, осталось a-Хмоль. $K_{гидролиза} = \frac{[C_6H_5O^-]\cdot[OH^-]}{[C_6H_5O^-]} = \frac{X\cdot X}{a-X} = \frac{X^2}{a-X}$.
$pH = -\lg[H^+] = 11$, отсюда $[H^+] = 10^{-11}$ моль/л. $[H^+]\cdot[OH^-] = 10^{-14}$
$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-11}} = 10^{-3}$ моль/л = X.
В это же время $K_{гидролиза} = \frac{10^{-14}}{K_{дис}} = \frac{10^{-14}}{10^{-10}} = 10^{-4}$
$\frac{X^2}{a-X} = 10^{-4}$, $\frac{(10^{-3})^2}{a-10^{-3}} = 10^{-4}$, $10^{-4}\cdot a = 10^{-6}+10^{-7}$,
$a = \frac{10^{-6}}{10^{-4}} + \frac{10^{-7}}{10^{-4}} = 10^{-2}+10^{-3} = 0{,}01+0{,}001 = 0{,}011$ моль/л - искомая молярная концентрация фенолята K.

Ответ: 0,011 моль/л

№3 чистовик 2

Дано:
$2A \rightleftarrows B$
$V = 1л$
$t = 30°C \Rightarrow T = 303K$
$B : A = 1,86 : 1$
$P = 1атм = 101,3кПа$
$M_{смеси} = 75,9 г/моль$
$K_{прямой} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{л}{моль \cdot мин}$

пусть было $1,86x$ моль B и $1x$ моль A, тогда всего в реакторе было $1,86x + 1x = 2,86x$ моль смеси.

$$\varphi(A) = \frac{1x\ моль}{2,86x\ моль} = 0,35 = 35\%$$

$$\varphi(B) = \frac{1,86x\ моль}{2,86x\ моль} = 0,65 = 65\%$$

по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{101,3кПа \cdot 1л}{8,31 \cdot 303K} = 0,04 моль\ смеси.$$

$\nu(A) = 0,04 моль \cdot 0,35 = 0,014 моль$

$\nu(B) = 0,04 моль \cdot 0,65 = 0,026 моль$

$$C(A) = \frac{\nu(A)}{V} = \frac{0,014 моль}{1л} = 0,014 моль/л$$

$$C(B) = \frac{\nu(B)}{V} = \frac{0,026 моль}{1л} = 0,026 моль/л$$

$2M(A) = M(B)$ - по уравнению реакции.

$$M_{смеси} = \frac{m(A) + m(B)}{\nu(A) + \nu(B)} = \frac{\nu(A) \cdot M(A) + \nu(B) \cdot M(B)}{\nu(A) + \nu(B)} = 75,9 г/моль;$$

$$\frac{0,014 моль \cdot M(A) + 0,026 моль \cdot M(B)}{0,04 моль} = \frac{0,014 моль \cdot M(A) + 0,026 \cdot 2 моль\ M(A)}{0,04 моль} =$$

$$= \frac{M(A) \cdot (0,014 + 0,052)}{0,04} = 75,9 г/моль; \quad \frac{M(A) \cdot 0,066}{0,04} = 75,9$$

$M(A) \cdot 0,066 = 3,036 \Rightarrow M(A) = 46 г/моль$, $M(B) = 2M(A) = 92 г/моль$.

получаем вещество A - NO_2; вещество B - N_2O_4

$$2NO_2 \rightleftarrows N_2O_4$$

$$K = \frac{K_{прям}}{K_{обр}} = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$$

$$K_{обр} = \frac{K_{прям}}{K} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \frac{л}{моль \cdot мин} \cdot 0,014^2 моль/л}{0,026 моль/л} = \frac{0,005 \cdot 1,96 \cdot 10^{-4}}{0,026} =$$

$$= 3,77 \cdot 10^{-5}\ мин^{-1}$$

Ответ: A - NO_2
B - N_2O_4
$K_{обр} = 3,77 \cdot 10^{-5}\ мин^{-1}$