МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Малкина София Юрьевна**

Класс: **11**

Технический балл: **100**

Дата проведения: **27 февраля 2022 года**

Проверил: Музалевский В.М.

Шифр	1	2	3	4	5	6	Сумма
9490781	8	16	16	20	20	20	100

1

2

3

4

5

6

Чистовик 5

№5

Дано:

$m(CuS) = 9,6 г$

$m_р(HNO_3) = 120 г$

$m_р(H_2SO_4) = 142,7 г$

$\omega(HNO_3) = 63\% = 0,63$

$\omega(H_2SO_4) = 98\% = 0,98$

Δm - ? $m(Na_2CO_3 \cdot 10H_2O)$ - ?

Решение

$\nu(CuS) = m(CuS) : M(CuS) = 9,6 : 96 г/моль = 0,1 моль$

$\nu(HNO_3) = \frac{m_р(HNO_3) \cdot \omega(HNO_3)}{M(HNO_3)} = \frac{120 г \cdot 0,63}{63 г/моль} = 1,2 моль$

$\nu(H_2SO_4) = \frac{m_р(H_2SO_4) \cdot \omega(H_2SO_4)}{M(H_2SO_4)} = \frac{142,7 г \cdot 0,98}{98 г/моль} = 1,427 моль$

(1) $\overset{0,1}{CuS} + 10\overset{1}{HNO_3} \xrightarrow{t^oC} Cu(NO_3)_2 + \overset{0,1}{H_2SO_4} + 8\overset{0,8}{NO_2}\uparrow + 4H_2O$

(2) $\overset{0,1}{CuS} + 4\overset{0,4}{H_2SO_4} \xrightarrow{t^oC} CuSO_4 + 4\overset{0,4}{SO_2}\uparrow + 4H_2O$

Из (1) $\nu(HNO_3)$ реаг $= 1$ моль, $\nu(H_2SO_4) = 0,1$ моль, $\nu(NO_2) = 0,8$ моль

Из (2) $\nu(H_2SO_4)$ реаг $= 0,4$ моль, $\nu(SO_2) = 0,4$ моль

m в стакане 1 $= m(CuS) + m_р(HNO_3) - \nu(NO_2) \cdot M(NO_2)$

m в стакане 1 $= 9,6 г + 120 г - (0,8 \cdot 46) г = 92,8 г$

m в стакане 2 $= m(CuS) + m_р(H_2SO_4) - \nu(SO_2) \cdot M(SO_2)$

m в стакане 2 $= 9,6 г + 142,7 г - (0,4 \cdot 64) г = 126,7 г$

Δm = m в стакане 2 - m в стакане 1 $= 126,7 г - 92,8 г = 33,9 г$

Значит $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ нужно добавить в первый стакан

(3) $\overset{x=0,14}{Na_2CO_3} + \overset{2x=0,28}{2HNO_3} \rightarrow 2NaNO_3 + \overset{x=0,14}{CO_2}\uparrow + H_2O$

$m(Na_2CO_3 \cdot 10H_2O) = x моль \cdot 286 г/моль$, $m(CO_2) = x моль \cdot 44 г/моль$

$\Delta m = m(Na_2CO_3 \cdot 10H_2O) - m(CO_2)$

$33,9 = 286x - 44x = 242x$, $x \approx 0,14$ моль

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

$\nu(HNO_3)$ оставшейся после (1) $= 1,2 - 1 = 0,2$ (моль), чего не хватит для реакции с $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$. Тогда в реакцию вступит и H_2SO_4

(4) $\overset{0,1}{Na_2CO_3} + 2\overset{0,2}{HNO_3} \rightarrow 2NaNO_3 + \overset{0,1}{CO_2}\uparrow + H_2O$

(5) $\overset{0,04}{Na_2CO_3} + \overset{0,04}{H_2SO_4} \rightarrow Na_2SO_4 + \overset{0,04}{CO_2}\uparrow + H_2O$

Ответ: $\Delta m = 33,9 г$. В первый стакан надо положить 40,04 г $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$

Чистовик 1

Вариант 1

№1

Количество электронов в атоме равно количеству протонов, значит в молекулах по 42 протона. Количество нейтронов в атоме равно разнице между массовым и зарядовым числами атома, тогда по условиям в атоме кислорода 16-8=8 нейтронов, в атоме углерода 12-6=6 нейтронов.

$C_xH_yO_z$, (x, y, z - натуральные числа) $6 \cdot x + 8 \cdot z = 32$.

Равенство выполняется только при $x=4$, $z=1$

Атом водорода по условиям не содержит нейтроны, тогда количество атомов водорода равно количеству протонов, оставшихся после распределения их между атомами углерода и кислорода.

$N(H) = 42 - 6 \cdot 4 - 8 \cdot 1 = 10 = y$. $C_4H_{10}O$

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$ – бутиловый спирт

$CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$ – диэтиловый эфир

Оба вещества – жидкости при нормальных условиях

$2CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH + 2Na \longrightarrow 2CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-ONa + H_2\uparrow$

признак реакции – выделение газа

$CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3 + Na \not\longrightarrow$

нет изменений

Ответ: $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$, $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$

Чистовик 4

№4

Дано:

$T = 180°C = 453K$

$m = 15,92$

$V = 11,15 л$

$P = 101,3 кПа$

$C = 0,4 М$

спирт 1 – ? ω_1 – ?

спирт 2 – ? ω_2 – ?

$V_p(KMnO_4)$ – ?

Решение:

$PV = \nu RT$, $\nu_{общ} = \frac{P \cdot V}{RT} = \frac{101,3 кПа \cdot 11,15 л}{8,314 \frac{Дж}{моль \cdot K} \cdot 453 K} \approx 0,3 моль$

$C_nH_{(2n+1)}OH$

спирт 1	спирт 2
x моль	y моль
$M_1 = (14b + 18)$ г/моль	$M_2 = (14k + 18)$ г/моль

$x + y = 0,3$

$y = 0,3 - x$

$m = M_1 \cdot x + M_2 \cdot y = M_1 \cdot x + M_2(0,3 - x)$

при $b = 2$, $k = 3$; $15,9 = 46 \cdot x + 60(0,3 - x)$

$2,1 = 14x$, $x = 0,15$ (моль), $y = 0,3 - 0,15 = 0,15$ (моль)

спирт$_1$: CH_3-CH_2-OH | спирт2: $CH_3-CH_2-CH_2-OH$

$\omega_{спирт1} = \frac{M_1 \cdot x}{m} = \frac{46 г/моль \cdot 0,15 моль}{15,92} \approx 0,434 \approx 43,4\%$

$\omega_{спирт2} = 100\% - \omega_{спирт1} = 100\% - 43,4\% = 56,6\%$

(1) $CH_3-CH_2-OH \xrightarrow{H_2SO_4, 180°C} CH_2=CH_2\uparrow + H_2O$

(2) $CH_3-CH_2-CH_2-OH \xrightarrow{H_2SO_4, 180°C} CH_3-CH=CH_2\uparrow + H_2O$

(3) $3\overset{0,15}{CH_2=CH_2} + 2\overset{0,1}{KMnO_4} + 4H_2O \xrightarrow{(0-4)°C} 3CH_2(OH)-CH_2(OH) + 2KOH + 2MnO_2\downarrow$

(4) $3\overset{0,15}{CH_3-CH=CH_2} + 2\overset{0,1}{KMnO_4} + 4H_2O \xrightarrow{(0-4)°C} 3CH_3-CH(OH)-CH_2(OH) + 2KOH + 2MnO_2\downarrow$

$\nu(KMnO_4)_{общ} = 0,2$ моль. $V_p(KMnO_4) = \frac{\nu(KMnO_4)}{C} = \frac{0,2}{0,4} = 0,5$ (л)

Ответ: смесь может состоять на 43,4% из CH_3-CH_2-OH и на 56,6% из $CH_3-CH_2-CH_2-OH$. $V_p(KMnO_4) = 0,5 л$

Чистовик 2

№2

Дано:

$pH = 11$

$K_{дис}(C_6H_5OH) = 10^{-10}$

$c(C_6H_5OK) - ?$

Решение:

$c(H^+) = 10^{-pH} = 10^{-11}$ моль/л

$K_w = c(H^+) \cdot c(OH^-) = 10^{-14}$ | $c(OH^-) = \frac{K_w}{c(H^+)}$

$c(OH^-) = \frac{10^{-14}}{10^{-11}} = 10^{-3}$ (моль/л)

(1) $C_6H_5OK \longrightarrow C_6H_5O^- + K^+$ | $c(C_6H_5OK) = c(C_6H_5O^-)$

(2)

	$C_6H_5O^-$	+	H_2O	$\rightleftharpoons$	C_6H_5OH	+	OH^-
исходн.	$c(C_6H_5OK)$				~~$c(OH^-)$~~ 0		0
реаг.	$c(OH^-)$				$c(OH^-)$		$c(OH^-)$
равн	$c(C_6H_5OK) - c(OH^-)$				$c(OH^-)$		$c(OH^-)$

(2) - гидролиз. Из (2) следует, что $c(OH^-)_{реаг} = c(C_6H_5OH)_{реаг} = c(C_6H_5OK)_{реаг}$.

$$K_{дис}(C_6H_5OH) = \frac{c(H^+) \cdot c(C_6H_5O^-)}{c(C_6H_5OH)}$$

$$K_{гидр} = \frac{c(C_6H_5OH) \cdot c(OH^-)}{c(C_6H_5O^-)} = \frac{c(C_6H_5OH) \cdot \cancel{c(OH^-)} \cdot K_w}{c(C_6H_5O^-) \cdot c(H^+)} = \frac{K_w}{K_{дис}(C_6H_5OH)}$$

$$K_{гидр} = \frac{K_w}{K_{дис}(C_6H_5OH)} = \frac{(c(OH^-))^2}{c(C_6H_5OK) - c(OH^-)}$$

$$c(C_6H_5OK) = \frac{(c(OH^-))^2 \cdot K_{дис}(C_6H_5OH)}{K_w} + c(OH^-)$$

$$c(C_6H_5OK) = \frac{(10^{-3})^2 \cdot 10^{-10}}{10^{-14}} + 10^{-3} = 0{,}011 \text{ моль/л}$$

Ответ: $c(C_6H_5OK) = 0{,}011$ моль/л

Чистовик. 3

№3

Дано:

$V = 1\,л$

$T = 30°C = 303\,K$

$\nu(B) : \nu(A) = 1{,}86 : 1$

$P = 1\,атм = 101{,}3\,кПа$

$M_{ср} = 75{,}9\,г/моль$

$K_1 = 5 \cdot 10^{-3}\,\frac{л}{моль \cdot мин}$

$A, B - ?\quad K_2 - ?$

Решение:

$$2A \underset{K_2}{\overset{K_1}{\rightleftarrows}} B$$

K_1, K_2 – константы скоростей реакций

$$x(A) = \frac{1}{1+1{,}86} \approx 0{,}35$$

$$x(B) = 1 - x(A) = 1 - 0{,}35 = 0{,}65$$

$$M_{ср} = M(A) \cdot x(A) + M(B) \cdot x(B)$$

$M(B) = 2M(A)$, т.к. молекула B состоит из двух молекул A

$$M_{ср} = M(A) \cdot x(A) + 2M(A) \cdot x(B)$$

$$75{,}9 = M(A) \cdot 0{,}35 + 2M(A) \cdot 0{,}65 \;|\; 1{,}65\,M(A) = 75{,}9 \;|\; M(A) = 46\,г/моль$$

$M(NO_2) = 46\,г/моль$, NO_2 может вступать в реакцию димеризации, тогда $A = NO_2$, $B = N_2O_4$

$$2NO_2 \underset{K_2}{\overset{K_1}{\rightleftarrows}} N_2O_4$$

По условиям смесь равновесна, значит скорость прямой реакции равна скорости обратной $v_1 = v_2$

$$v_1 = K_1 \cdot (c(NO_2))^2 \qquad \frac{K_1}{K_2} = \frac{c(N_2O_4)}{(c(NO_2))^2} = K_{равн}$$

$$v_2 = K_2 \cdot c(N_2O_4)$$

$$K_2 = \frac{K_1}{K_{равн}} = \frac{K_1 \cdot (c(NO_2))^2}{c(N_2O_4)}$$

$$PV = \nu RT,\quad \nu_{общ} = \frac{P \cdot V}{RT} = \frac{101{,}3\,кПа \cdot 1\,л}{8{,}314\,\frac{Дж}{моль \cdot K} \cdot 303\,K} \approx 0{,}04\,моль$$

$$c(NO_2) = \frac{\nu_{общ} \cdot x(NO_2)}{V} = \frac{0{,}04\,моль \cdot 0{,}35}{1\,л} = 0{,}014\,моль/л$$

$$\cancel{\nu(N_2O_4) = \nu_{общ} - \nu_{NO_2}}$$

$$c(N_2O_4) = \frac{\nu_{общ} \cdot x(N_2O_4)}{V} = \frac{0{,}04\,моль \cdot 0{,}65}{1\,л} = 0{,}026\,моль/л$$

$$K_2 = \frac{5 \cdot 10^{-3}\,\frac{л}{моль \cdot мин}\,(0{,}014\,моль/л)^2}{0{,}026\,моль/л} \approx 3{,}769 \cdot 10^{-5}\,мин^{-1}$$

Ответ: $A = NO_2$, $B = N_2O_4$, $K_2 = 3{,}769 \cdot 10^{-5}\,мин^{-1}$

Чистовик 6 №6

Дано:

$D_{O_2} = 0{,}875$

$m_{ж} = 21{,}6\,г$

A–E – ?

m(D) – ?

Решение

$M_{ср} = D_{O_2} \cdot M(O_2) = 0{,}875 \cdot 32\,г/моль = 28\,г/моль$

Пусть А является кислотой. $А = HC\overset{O}{\underset{OH}{=}}$

(1) $HC\overset{O}{\underset{OH}{=}} \xrightarrow{H_2SO_4,\ t^\circ C} CO + H_2O$, $B = CO$, $M(CO) = 28\,г/моль$,

тогда $M(Г) = 28\,г/моль$, $M(CH_2=CH_2) = 28\,г/моль$

(2) $CH_3-CH_2-OH \xrightarrow{H_2SO_4,\ t^\circ C} CH_2=CH_2 + H_2O$, $Г = CH_2=CH_2$

$Б = CH_3-CH_2-OH$

(3) $CO + CH_2=CH_2 + H_2 \xrightarrow{t,\ p,\ kat} CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}}$

$D = CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}}$

(4) $CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}} + 2\,CH_3-CH_2-OH \underset{\leftarrow}{\overset{H^+}{\rightarrow}} CH_3-CH_2-\underset{\underset{O-CH_2-CH_3}{|}}{CH}-O-CH_2-CH_3$

$E = CH_3-CH_2-\underset{\underset{O-CH_2-CH_3}{|}}{CH}-O-CH_2-CH_3$

(5) $\overset{0{,}15}{CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}}} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t^\circ C} CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{OH}{=}} + \overset{0{,}15}{Cu_2O} + 2H_2O$

$\nu(Cu_2O) = \frac{m_{ос}}{M(Cu_2O)} = \frac{21{,}6\,г}{144\,г/моль} = 0{,}15$ моль, $\nu(Cu_2O) = \nu(CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}})$

$m(D) = \nu(CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}}) \cdot M(CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}}) = 0{,}15$ моль $\cdot 58\,г/моль = 8{,}72$

Ответ: $А = HC\overset{O}{\underset{OH}{=}}$, $Б = CH_3-CH_2-OH$, $B = CO$, $Г = CH_2=CH_2$

$D = CH_3-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{=}}$, $E = CH_3-CH_2-\underset{\underset{O-CH_2-CH_3}{|}}{CH}-O-CH_2-CH_3$

$m(D) = 8{,}72$

Черновик

(2) $C_6H_5O^- + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5OH + OH^-$

нач.	$c(C_6H_5OH)$	0	0
реал.	$c(OH^-)$	$c(OH^-)$	$c(OH^-)$
равн	$c(C_6H_5OH) - (OH^-)$	$c(OH^-)$	$c(OH^-)$

$K_{дис}\ C_6H_5OH = \frac{c(H^+)\cdot c(OH^-)}{C_6H_5OH}$

CH_3-OH

$C(C_6H_5OH) = \frac{c(OH^-)^2 \cdot K_{дис}}{KW} + c(OH^-)$

$S^{-2} - 8\bar{e} \rightarrow S^{+6} \mid 1$

$N^{+5} + 1\bar{e} \rightarrow N^{+4} \mid 8$

$-8e$

$S^{-2} - 6\bar{e} \rightarrow S^{+4} \mid 2 \mid 1$

$S^{+6} + 2\bar{e} \rightarrow S^{+4} \mid 6/8 \mid 3/4$

$1{,}05\ M(A) = 25{,}9$

$46 = \cancel{12}\ 16\cdot 2 + 14$

$C_nH_{2n}OH$

$C_nH_{2n+1}OH$

при 2

$V_1 = k_1 \cdot c(NO_2)^2$

$V_2 = k_2 \cdot (N_2O_4)$

$\frac{k_1}{k_2} = \frac{c(N_2O_4)}{c(NO_2)^2} = K_{равн}$

$k_2 = \frac{k_1}{K_{равн}} = \frac{k_1 \cdot c(NO_2)^2}{c(N_2O_4)}$

$CuS + 3H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + 3SO_2 + 3H_2O$

$\frac{л}{моль \cdot мин} \cdot \frac{моль^2}{л^2} \cdot \frac{л}{моль} = \frac{1}{мин}$

$23\cdot 2 + 12 + 16\cdot 3 + 10\cdot 18$

$CH_3-CH_2-\ldots-OH \xrightarrow{H_2SO_4\ t^\circ C} CH_2=CH_2-C\ldots$

$2{,}1 = 14x$

$x =$

N_2

$t^\circ C\ H_2SO_4$

$HR \rightarrow CO$

$HC_3-CH_2-C{=}O{-}OH$

$+H_2O$

144

$H-C{=}O{-}OH \xrightarrow{H_2SO_4} CO + H_2O$

$\frac{21{,}6}{144}$

$CO + CH_2=CH_2 + H_2 \rightarrow$

$\rightarrow C{=}O{-}H$