

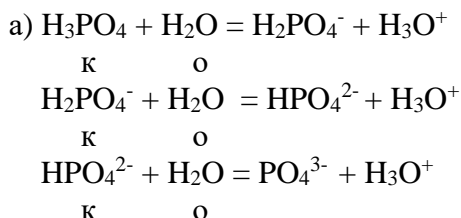
**Ответы экспериментального тура РХО–2023 для 10 класса
г. Шымкент**

Определение содержания фосфорной кислоты методом кислотно-основного титрования.

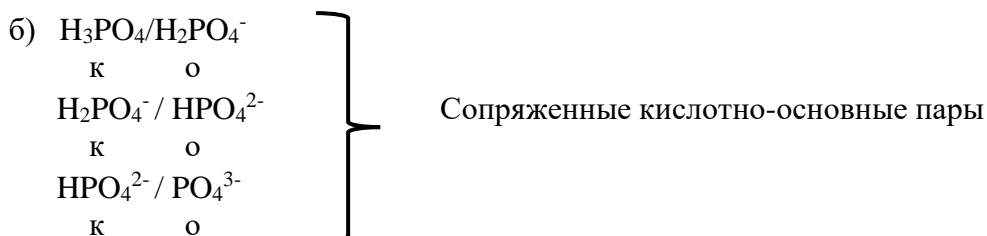
(Время для выполнения работы – 2,5 часа)

(всего 30 баллов)

1. Напишите уравнения ступенчатого протолитического равновесия в водном растворе фосфорной кислоты и соответствующие константы диссоциации (а). Какие сопряженные кислотно-основные пары существуют в этих равновесиях? (б)

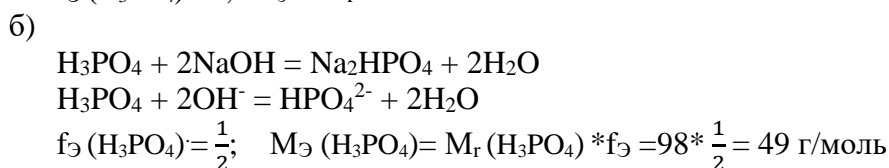
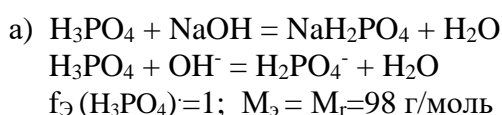


$$K_{a1} = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} ; \quad K_{a2} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} ; \quad K_{a3} = \frac{[\text{PO}_4^{3-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$



**2 б.
(1+1)**

2. Приведите уравнения химических реакций (молекулярные, ионные), протекающие в ходе титрования раствора задачи в присутствии метилового-оранжевого (а) и фенолфталеина (б). Укажите факторы эквивалентностей ($f_{\text{ЭКВ.}}$) и молярные массы эквивалентов ($M_{\text{Э}}$) веществ, участвующих в данном титровании.



**2 б.
(1+1)**

3. Укажите состав раствора в различных точках титрования: в точках эквивалентности, до и после точек эквивалентности:

1 т.э. – NaH_2PO_4 ; после 1 т.э. – $(\text{NaH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4 - \text{буфер})$
 2 т.э. – Na_2HPO_4 ; до 3 т.э. – $(\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{Na}_3\text{PO}_4 - \text{буфер})$
 3 т.э. – Na_3PO_4 ; после 3 т.э. – $(\text{Na}_3\text{PO}_4/\text{NaOH})$

2 б.

4. Рассчитайте значения pH в точках эквивалентностей при титровании 0,1 М H_3PO_4 0,1 М раствором NaOH (для H_3PO_4 $K_1=7 \cdot 10^{-3}$; $K_2=6 \cdot 10^{-8}$; $K_3=5 \cdot 10^{-13}$).

1) 1 т.э. – $NaH_2PO_4 = Na^+ + H_2PO_4^-$
амфолит

$$[H^+] = \sqrt{K_{a1} * K_{a2}} = \sqrt{7 * 10^{-3} * 6 * 10^{-8}} = \sqrt{4,2 * 10^{-10}} = 2,05 * 10^{-5} \text{ М}; \quad \text{pH}=4,69$$

2) 2 т.э. – $Na_2HPO_4 = 2Na^+ + HPO_4^{2-}$
амфолит

$$[H^+] = \sqrt{K_{a3} * K_{a2}} = \sqrt{5 * 10^{-13} * 6 * 10^{-8}} = \sqrt{3 * 10^{-20}} = 1,73 * 10^{-10} \text{ М}; \quad \text{pH}=9,76$$

2 б.

5. Обоснуйте выбор индикаторов «метилоранжа» (pT=4) и «фенолфталеина» (pT=9) для данного титрования. Можно ли использовать для этой цели индикаторы «метиловый красный» (pT=5) и «тимолфталеин» (pT=9,6)? Дайте обоснованный ответ.

Индикаторы в кислотно-основном титровании подбирают по показателю титрования pT ($pT=pK_{\text{инд}}$) и по интервалу изменения окраски индикатора $\Delta pH=(pK_{\text{инд}} \pm 1)$. Индикаторы м.о. (pT=4) и мет.красный (pT=5) подходят для первой точки эквивалентности, а фенолфталеин (pT=9) и тимолфталеин (pT=9,6) - для 2 эквивалентной точки титрования, т.к. их значения pT практически близки к значениям pH в этих точках титрования. (см. п.4.)

2 б.

6. Расчет содержания H_3PO_4 (в граммах) в исходной задаче (в мерной колбе):

а) 1-титрование:

В 1-эkv.точке титруется только 1/3 часть H_3PO_4 , т.е. нейтрализуется только 1 ион H^+ в молекуле фосфорной кислоты, поэтому $f_{\text{Э}}(H_3PO_4)=1$, $M_{\text{Э}}(H_3PO_4) = M_r(H_3PO_4) = 98$ г/моль

$$m(H_3PO_4) = \frac{C_{NaOH} * \tilde{V}_{NaOH} * M_{\text{Э}}^{\text{ф.к.}}}{1000} * \frac{V_{\text{м.к.}}}{V_{\text{ал}}}$$

10 б.

б) 2-титрование:

Во 2 экв.точке титруется только 2/3 частей H_3PO_4 , т.е. нейтрализуется только 2 иона H^+ в молекуле фосфорной кислоты, поэтому $f_{\text{Э}}(H_3PO_4)=\frac{1}{2}$; $M_{\text{Э}}(H_3PO_4) = M_r(H_3PO_4) * f_{\text{Э}} = 98 * \frac{1}{2} = 49$ г/моль

$$m(H_3PO_4) = \frac{C_{NaOH} * \tilde{V}_{NaOH} * M_{\text{Э}}^{\text{ф.к.}}}{1000} * \frac{V_{\text{м.к.}}}{V_{\text{ал}}}$$

10 б.

Всего: