

Вопросы, задания, задачи

1. Выпишите из текста параграфа восемь формул нитратов.
2. Перечислите важнейшие физические свойства азотной кислоты.
3. Укажите окраску раствора азотной кислоты при добавлении: а) лакмуса; б) метилоранжа.
4. Составьте формулы нитратов магния, лития, железа(III), бария.
5. Проанализируйте возможность протекания реакций в растворе между азотной кислотой и солями: хлорид калия, карбонат калия, сульфид натрия, сульфат натрия.
6. Составьте уравнения реакций в молекулярной и ионной формах между азотной кислотой и веществами, формулы которых: Fe_2O_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, MgCO_3 .
7. Рассчитайте массу соли, которую можно получить в результате взаимодействия меди и раствора массой 50 г с массовой долей азотной кислоты 60 % (кислота концентрированная).
8. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в уравнениях реакций с участием азотной кислоты:
 $\text{S} + \text{HNO}_{3(\text{конц})} = \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{Mg} + \text{HNO}_{3(\text{конц})} = \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}.$
9. Запишите уравнения реакций согласно схеме:
 а) $\text{NO}_2 \xrightarrow{1} \text{HNO}_3 \xrightarrow{2} \text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{\text{KOH}} \text{X} \xrightarrow{\text{O}_2/\text{Pt}} \dots;$ б) $\text{Cu} \xrightarrow{1} \text{NO}_2 \xrightarrow{2} \text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{CaCO}_3} \text{X} \xrightarrow{\text{KOH}} \dots$
10. Какой минимальный объём раствора азотной кислоты с массовой долей 80 % и плотностью 1,45 г/см³ необходим для растворения серебра массой 4,32 г? Реакция протекает по схеме: $\text{Ag} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}.$



§ 39. Кислородсодержащие соединения фосфора

К наиболее значимым кислородсодержащим соединениям фосфора относят оксид фосфора(V), фосфорную кислоту и её соли.

Оксиды фосфора

Взаимодействие кислорода с фосфором приводит к образованию оксидов, состав которых зависит от условий проведения реакции.

При сжигании фосфора в чистом кислороде, как указано на с. 201, получается оксид фосфора(V) P_2O_5 , а при недостатке кислорода — оксид фосфора(III) P_2O_3 .



Белый фосфор являлся одним из первых дымообразующих веществ, при сжигании которого во время военных действий образовывалась дымовая завеса из частиц P_2O_5 . Дым — дисперсная система, состоящая из твёрдых взвешенных частиц в газовой среде.

Оксид фосфора(V) считают самым эффективным осушителем. Причём осушителем является и образующаяся при этом кислота. Обращаться с P_2O_5 следует крайне осторожно, так как при попадании на кожу оксид вызывает сильнейшие ожоги, одна из причин — обезвоживание тканей.

Оксид фосфора(V) P_2O_5 — высший оксид фосфора, и ему соответствует гидроксид H_3PO_4 — фосфорная (или *орто*фосфорная) кислота.

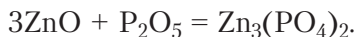
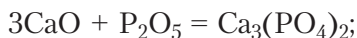
P_2O_5 — белое твёрдое вещество ($T_{\text{пл.}} = 420\text{ }^\circ\text{C}$). Является типичным кислотным оксидом: реагирует с водой (1), основными оксидами (2) и щелочами (3), широко используется в органическом синтезе. Рассмотрим особенности этих реакций:

1. Конечным продуктом реакции оксида фосфора(V) с водой является фосфорная кислота H_3PO_4 :

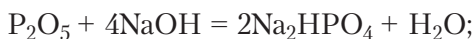
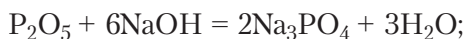


Оксид фосфора(V) не только растворяется в воде, но и «жадно» поглощает пары воды из воздуха, то есть гигроскопичен, используется в качестве осушителя.

2. Взаимодействие с основными и амфотерными оксидами приводит к образованию солей:

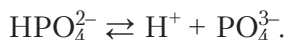


3. При растворении P_2O_5 в щелочах могут образовываться как средние, так и кислые соли (в зависимости от соотношения реагентов). Например, при взаимодействии с гидроксидом натрия могут образоваться Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 или NaH_2PO_4 :



Фосфорная кислота

Химические и физические свойства. Фосфор образует несколько кислот, однако самой устойчивой является фосфорная кислота H_3PO_4 (рис. 96). Из структурной формулы её молекулы видно, что кислота трёхосновна. H_3PO_4 — вещество, температура плавления которого $42,35\text{ }^\circ\text{C}$. Это означает, что при комнатной температуре фосфорная кислота — твёрдое вещество. Фосфорная кислота хорошо растворима в воде. В водном растворе диссоциирует ступенчато:



Фосфорная кислота — слабый электролит, диссоциирует преимущественно по первой ступени. В растворах она проявляет *общие* свойства кислот: меняет цвет индикаторов

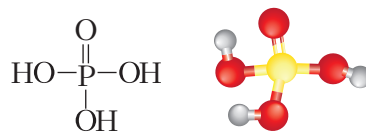
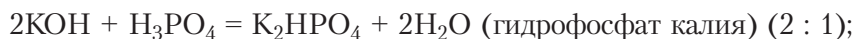
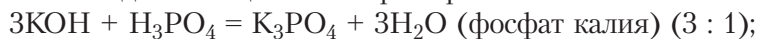


Рис. 96. Структурная формула и шаростержневая модель молекулы фосфорной кислоты

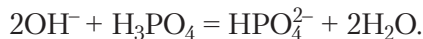
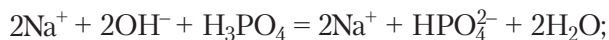
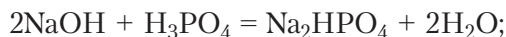
и образует соли в реакциях с металлами, находящимися в ряду активности до водорода (1), основными и амфотерными оксидами (2), гидроксидами металлов и аммиаком (3), другими солями (4); она не является окислителем за счёт аниона:

1	$3\text{Mg} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 3\text{H}_2\uparrow$ металл
2	$3\text{CaO} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$ оксид основной $3\text{ZnO} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$ оксид амфотерный
3	$3\text{NaOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O};$ основание (щёлочь) $2\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 = (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ аммиак
4	$3\text{K}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = 2\text{K}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2\uparrow$ соль

Отметим, что фосфорная кислота образует как средние соли (фосфаты), так и кислые (гидрофосфаты и дигидрофосфаты), в зависимости от соотношения исходных веществ. Например:



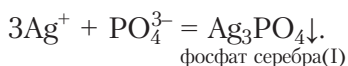
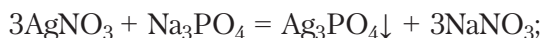
При составлении *уравнений реакций в ионной форме* фосфорную кислоту представляют в виде молекул как преобладающих частиц в её растворе. Например:



Применение и получение. Фосфорную кислоту применяют в производстве удобрений и кормовых средств, для формирования антикоррозионных покрытий на металлах, а также в пищевой промышленности для придания кисловатого вкуса безалкогольным напиткам, для осветления сахара.

Получают H_3PO_4 взаимодействием природных фосфатов с серной кислотой при 60–80 °С с последующим отфильтровыванием осадка CaSO_4 . При этом фосфорная кислота образуется в виде сиропообразного раствора с массовой долей вещества 85 %. Второй способ — сжигание фосфора, полученного прокаливанием природного фосфата с песком и углём, и последующее растворение оксида в воде: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow \text{P} \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4$.

Соли фосфорной кислоты. Фосфаты, как правило, нерастворимы, за исключением солей натрия, калия и аммония. Кислые соли более растворимы, чем средние, а дигидрофосфаты имеют большую растворимость, чем гидрофосфаты. Например, фосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ нерастворим, гидрофосфат CaHPO_4 — мало растворим, а дигидрофосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ — хорошо растворим в воде. Большинство фосфатов обладает высокой термической устойчивостью — не разрушаются при нагревании до температуры плавления. Характерной особенностью фосфатов (средних солей) является образование осадка жёлтого цвета при действии раствора нитрата серебра(I) (Приложение 3):



В отличие от светло-жёлтого осадка бромида серебра(I) и жёлтого осадка йодида серебра(I), фосфат серебра(I) растворяется при добавлении азотной кислоты.

Применение солей фосфорной кислоты. Многие средние и кислые соли фосфорной кислоты ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) используются в качестве удобрений. Фосфаты находят применение в производстве каучука, пластмасс, в металлургии. Фосфат натрия уменьшает жёсткость воды и улучшает моющее действие стиральных порошков. Тем не менее во многих государствах в настоящее время установлены ограничения по применению фосфатов в качестве стиральных моющих средств. Дело в том, что после стирки фосфаты попадают в сточные воды, а затем в водоёмы, способствуя бурному развитию планктона и водорослей — водоёмы «стареют». По некоторым данным, 1 г фосфата стимулирует рост 5–10 кг водорослей.

Оксид фосфора(V) — кислотный оксид.

Фосфорная кислота, в отличие от азотной, является при н. у. твёрдым веществом, относится к слабым кислотам и окислительные свойства проявляет только за счёт атомов водорода.

Соли фосфорной кислоты — фосфаты, гидрофосфаты и дигидрофосфаты — находят широкое применение в качестве удобрений.

Вопросы, задания, задачи

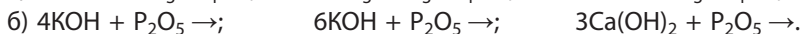
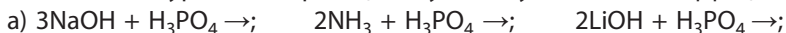
1. Назовите классы веществ, с которыми взаимодействует: а) оксид фосфора(V); б) фосфорная кислота.

2. Составьте формулы: а) дигидрофосфата калия; дигидрофосфата кальция; гидрофосфата магния; фосфата железа(III); б) дигидрофосфата магния; гидрофосфата железа(III);

гидрофосфата цинка; фосфата натрия. Запишите уравнения их электролитической диссоциации, учитывая отщепление только ионов металла.

3. Запишите три уравнения последовательных реакций, происходящих при добавлении раствора: а) гидроксида калия к раствору фосфорной кислоты; б) фосфорной кислоты к раствору гидроксида натрия. Назовите образующиеся соли.

4. Составьте уравнения реакций с учётом указанных коэффициентов:



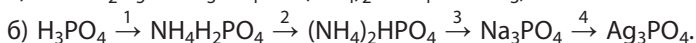
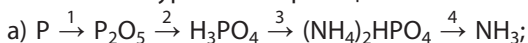
5. Определите количество теплоты, которая выделяется при сгорании фосфора массой 1 кг по термохимическому уравнению реакции:



6. Можно ли в качестве осушителя газообразного аммиака применять P_2O_5 ? Ответ аргументируйте.

7. В трёх пронумерованных пробирках находятся растворы нитрата калия, фосфата калия, хлорида натрия. Предложите план распознавания веществ. Поясните уравнения реакций в молекулярной и ионной формах.

8. Составьте уравнения реакций согласно схеме:



9. Необходимо приготовить раствор фосфорной кислоты массой 500 г с массовой долей вещества 5 %. Рассчитайте массы необходимых для этой цели оксида фосфора(V) и воды.

10. Рассчитайте объём воздуха (н. у.), который необходим для сжигания фосфора массой 1 кг. Чему равна масса фосфорной кислоты, образующейся при растворении полученного оксида фосфора(V)?



§ 40. Важнейшие минеральные удобрения

Удобрения — вещества, вносимые в почву или другую питательную среду для выращивания растений. Они обеспечивают полноценное питание растений, а значит, улучшают их рост, развитие, плодоношение и повышают урожайность сельскохозяйственных культур.

Удобрения содержат химические элементы, которые необходимы для питания растений, но присутствуют в среде их обитания в недостаточных количествах. Чаще всего растения испытывают недостаток таких биологически значимых элементов, как азот, калий и фосфор. По числу питательных элементов среди удобрений выделяют простые и комплексные. Простые удобрения — *азотные, фосфорные, калийные* — содержат один питательный элемент. В составе комплексных удобрений их несколько, например калийная селитра KNO_3 содержит и азот, и калий.