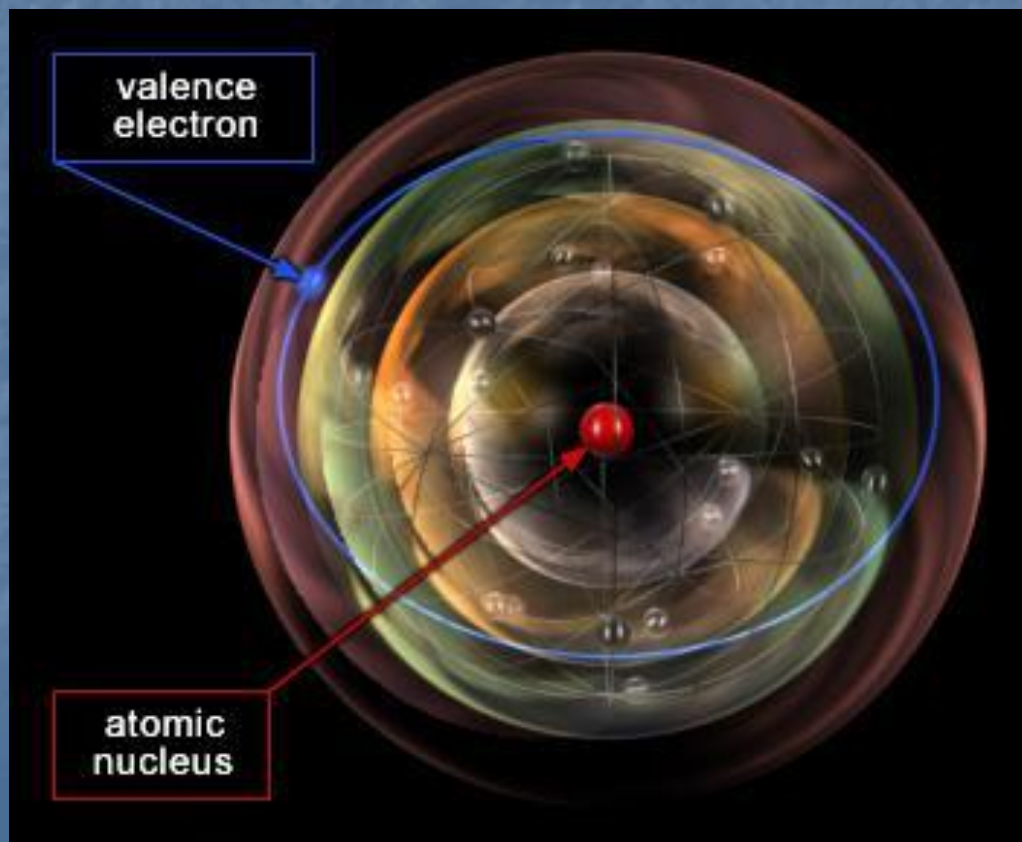


Фосфор: строение и свойства



Строение атома фосфора



15

P

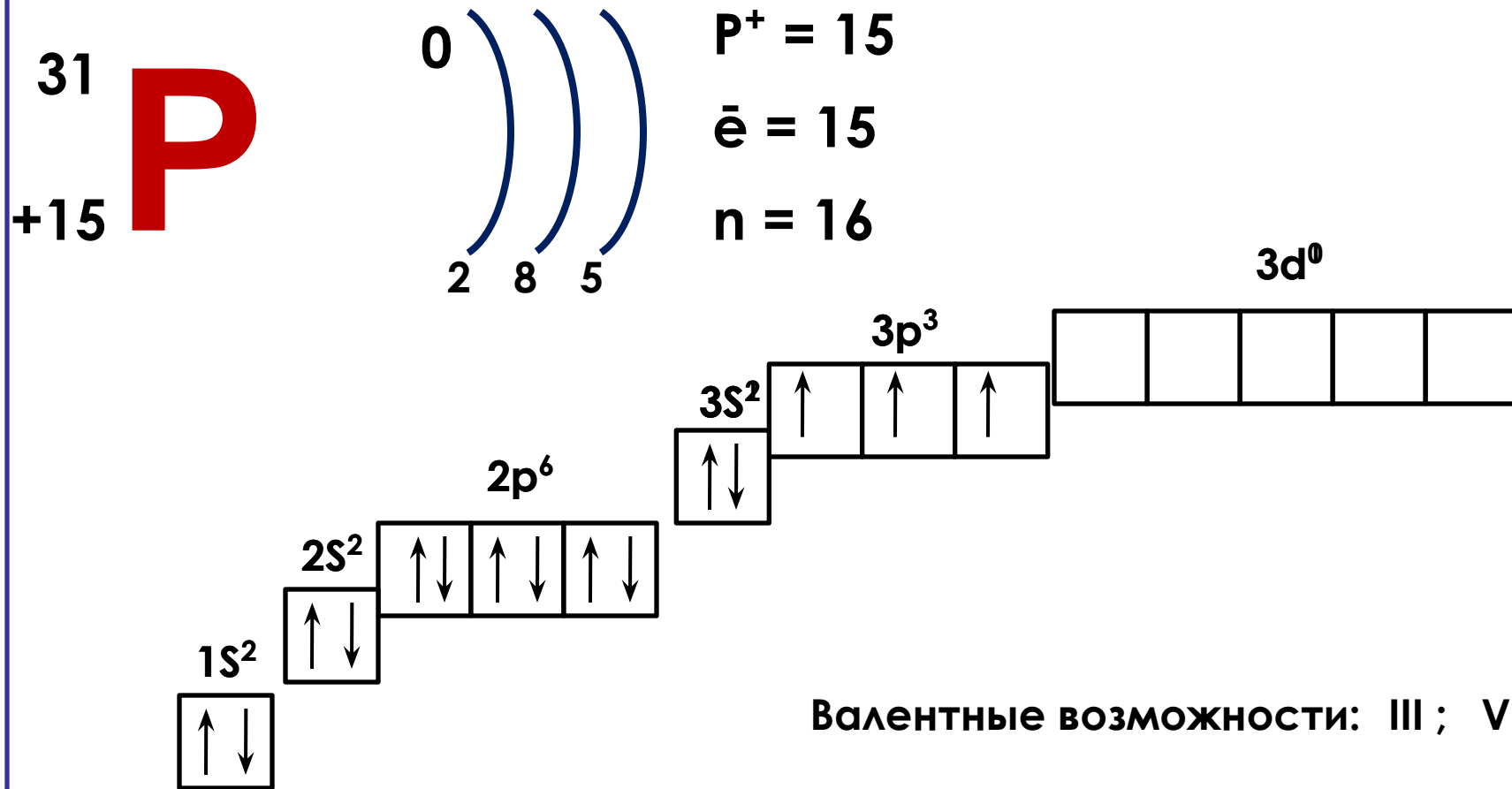
ФОСФОР

30,973

5
8
2

$3s^2 3p^3$

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ



Краткая электронная запись -

Общая характеристика.

- неметалл,
- $A_r=31$
- V группа, главная подгруппа
- 3 период, 3 ряд
- степени окисления -3,0,+1,+3,+5.
- оксиды **P₂O₃** и P₂O₅ - оба оксида кислотные
- Кислоты:
- **H₃PO₃** —фосфористая кислота
- **H₃PO₄** —фосфорная кислота
- летучее водородное соединение **PH₃**-газ фосфин (связь ковалентная почти неполярная)

■ **P** *Фосфор*

■ (*Phosphorus-Светоносец*)

■



АЛЛОТРОПИЯ

Конденсация паров
↓
t 200°C

• Белый фосфор

• Черный фосфор

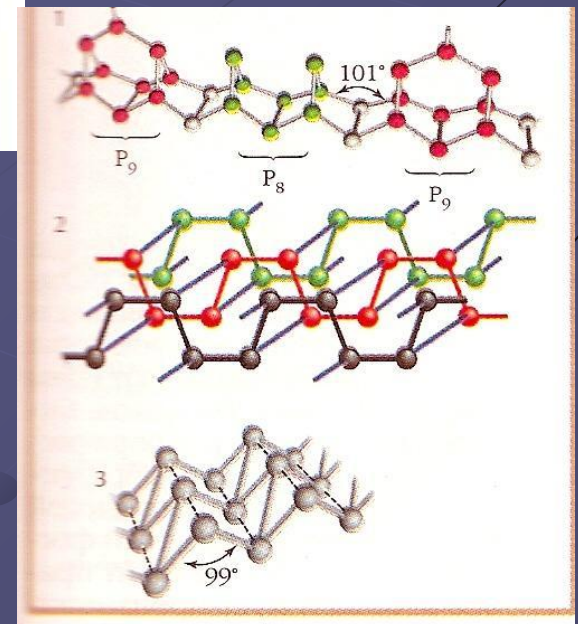
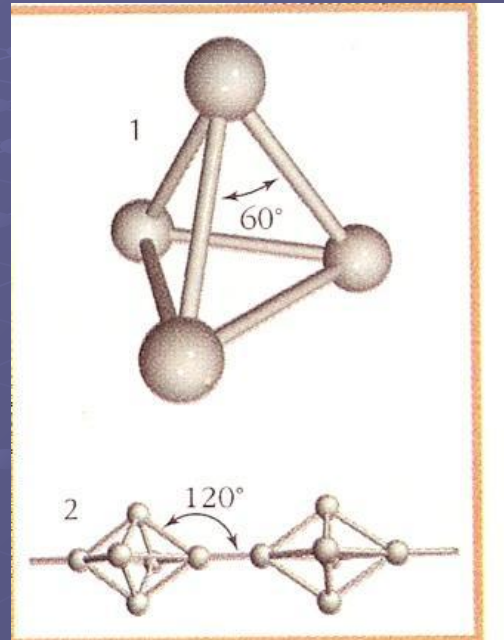
• Красный фосфор

t 400°C
P 12000 МПа
кат. - Hg

t 400°C
P 12000 МПа
кат. - Hg

Кристаллические решётки

- Рис. 1 Структура белого и красного фосфора
- Рис. 2 Структура фиолетового (1) и чёрного (2,3 – разные проекции) фосфора



БЕЛЫЙ ФОСФОР



Воскообразное, прозрачное вещество с характерным запахом, в присутствии примесей - следов красного Фосфора, мышьяка, железа и т. п. - окрашен в желтый цвет. Температура плавления $44,1^{\circ}\text{C}$. Медленно окисляется кислородом воздуха уже при комнатной температуре и светится (бледно-зелёное свечение). Белый фосфор активен химически и весьма ядовит.

КРАСНЫЙ ФОСФОР



Темно-малиновый порошок. Нерастворим в воде и сероуглероде. Химическая активность значительно ниже, чем у белого. На воздухе окисляется медленно, не светится в темноте. Самовоспламеняется при трении или ударе. При нагревании превращается в пар, при охлаждении которого образуется в основном белый фосфор. Ядовитость красного фосфора в тысячи раз меньше, чем у белого.

ЧЕРНЫЙ ФОСФОР



Чёрное вещество с металлическим блеском, жирное на ощупь и весьма похожее на графит. Не растворим в воде или органических растворителях. Поджечь чёрный фосфор можно, только предварительно сильно раскалив в атмосфере чистого кислорода до 400 °С. Удивительным свойством чёрного фосфора является его способность проводить электрический ток и свойства полупроводника. Температура плавления чёрного фосфора 1000 °С под давлением $18 \cdot 10^5$ Па.

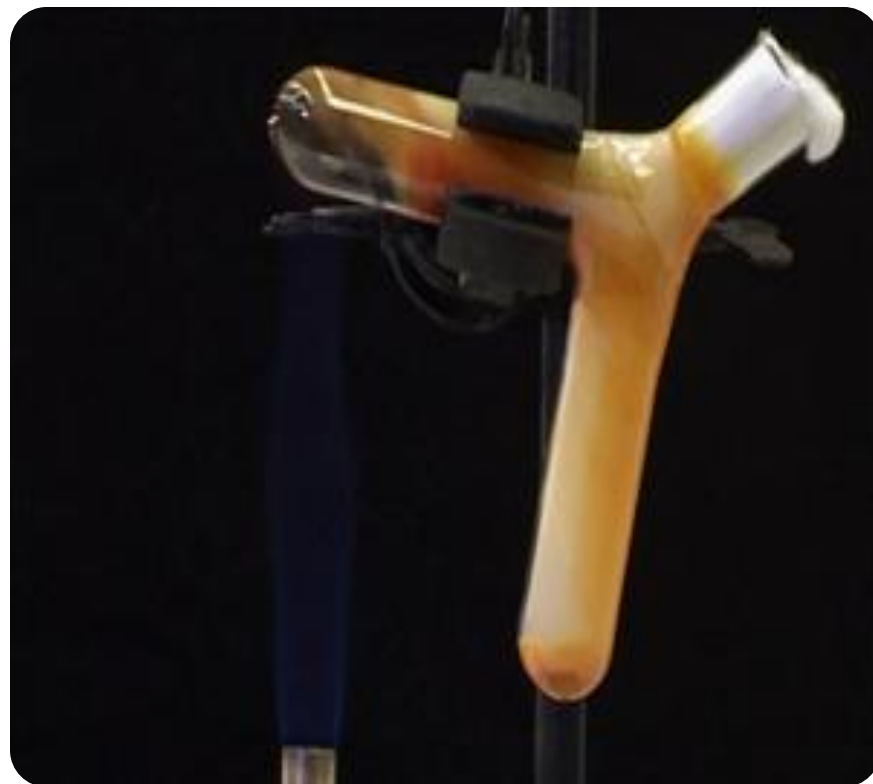
АЛЛОТРОПИЯ

Переход красного фосфора в белый

В одно колено сосуда Ландольта поместим немного красного фосфора. Закроем отверстие сосуда плотным комком ваты. Закрепим сосуд Ландольта в штативе. Нагреем колено. Через некоторое время наблюдаем, как белый фосфор конденсируется на холодных стенках второго колена. Цвет фосфора не белый, а оранжевый, что обусловлено примесями красного фосфора. После остывания сосуда опускаем в него металлическую проволоку. Частицы белого фосфора загорятся на воздухе.

Оборудование: сосуд Ландольта, горелка, штатив, вата.

Техника безопасности. Опыт следует проводить под тягой. Соблюдать правила обращения с белым фосфором. Не допускать попадания белого фосфора на кожу. После проведения опыта залить сосуд Ландольта насыщенным раствором медного купороса.



Сравнение свойств разновидностей фосфора

Аллотропное видоизменение	Строение вещества	Свойства вещества
Фосфор белый (жёлтый)	Имеет молекулярную кристаллическую решетку кубического типа, состоящую из молекул P ₄ , которые могут свободно вращаться, связаны очень непрочными связями и имеют форму тетраэдра.	В чистом виде совершенно бесцветен и прозрачен, продажный продукт окрашен в желтоватый цвет и по внешнему виду похож на воск. На холоду хрупок, мягкий при темп. выше 15 градусов Цельсия, с характерным запахом. Легоплавок и летуч. Очень ядовит. Не растворяется в воде, но хорошо растворяется в сероуглероде. Светится в темноте. В порошке самовоспламеняется. При темп. 34оС. Поэтому его хранят под водой.
Фосфор красный	Имеет аморфное строение или атомную кристаллическую решетку, полимерное строение: тетраэдры P ₄ связаны в бесконечные цепи. Несколько отличен «фиолетовый фосфор», состоящий из группировок P ₈ и P ₉ , уложенных в длинные трубчатые структуры с пятиугольным сечением.	Порошок красно-бурого цвета (название красный относится сразу к нескольким модификациям, отличающимся по плотности и окраске от оранжевой до тёмнокрасной и даже фиолетовой), не ядовит. Не растворяется ни в воде, ни в сероуглероде. Не светится в темноте. Загорается лишь при поджигании, а самовоспламеняется при темп. более 200оС
Фосфор чёрный	Кристаллическая форма. Построен из объёмных шестиугольников с атомами фосфора в вершинах, связанных друг с другом в слои (напоминает графит)	Наименее активная форма. Внешне похож на графит. При нагревании без доступа воздуха переходит в пар, из которого конденсируется белый фосфор

Итоги торгов

Название предприятия	Вещество	Свойство	Применение
Спичечная фабрика	Красный фосфор	Способность воспламеняться при трении	Входит в состав смеси, которую наносят на спичку и боковые поверхности спичечного коробка. При трении фосфор воспламеняется, поджигает состав головки, а от него загорается дерево.
Завод по производству пироматериалов	Белый фосфор	Легко загорается, образуя мельчайшие частички P_2O_5 .	Производство дымовых завес, зажигательных и дымовых снарядов, бомб.
Завод цветных металлов	Красный фосфор	Легко вступает в реакции с различными простыми и сложными веществами при нагревании.	В производстве сплавов цветных металлов как раскислитель, как легирующая добавка (оловянистая бронза). Производство магнитомягких сплавов и полупроводниковых фосфидов.
Завод по производству фосфорной кислоты	Белый фосфор	Реакционноспособность	Производят фосфорную кислоту, минеральные удобрения, полифосфаты натрия (для умягчения воды) и красный фосфор

Нахождение в природе.

- Содержание фосфора в земной коре составляет $9,3 \cdot 10^{-2}$ (по массе). В природе фосфор встречается только в виде соединений. Основными минералами фосфора являются фосфорит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и апатит $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$.
- Кроме того, фосфор входит в состав белковых веществ, а также костей и зубов.



ПРИРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Апатит



Апатит

Формула $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$

Цвет белый, зеленый, сине-зеленый, голубой, фиолетовый, редко красный

Блеск Стеклянный до жирного

Прозрачность

Прозрачный, просвечивающий

Плотность 3,2—3,4 г/см³

ПРИРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Фосфорит



Формула

$(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl})$ или $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Цвет беловатый,
сероватый, желтоватый
или бурый

Прозрачность

Непрозрачный,

Плотность 5 г/см³

Получение.

- *Фосфор получают в электрических печах по реакции:*
- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 5\text{C} + 3\text{SiO}_2 = 2\text{P} + 3\text{CaSiO}_3 + 5\text{CO},$
- $(t=1500\text{ }^\circ\text{C}).$
- *При быстрой конденсации паров под водой образуется белый фосфор. Красный фосфор образуется из белого при длительном нагревании его без доступа воздуха:*
- $\text{P} (\text{бел.}) \rightarrow \text{P} (\text{красн.}),$
- $(t = 280-340\text{ }^\circ\text{C})$

- Черный фосфор получают из белого нагреванием при 200 °С и давлении $1,2 \cdot 10^6$ кПа или в присутствии **Hg** (катализатора) при обычном давлении.

Физические свойства.

- *Белый фосфор*



- Он чрезвычайно
- ядовит !



- Мягкое, бесцветное, воскообразное вещество. Он легкоплавок (температура плавления $44,1^{\circ}\text{C}$, температура кипения 275°C), летуч, растворяется в сероуглероде и в ряде органических растворителей, светится в темноте (в результате медленного окисления - хемилюминесценция).

- *Красный фосфор*



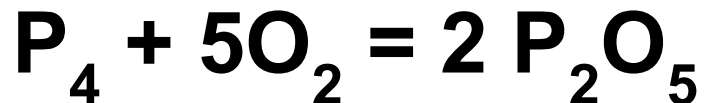
- **Не ядовит!**

- в зависимости от способов получения обладает различными свойствами. Например, его плотность изменяется в интервале
- 2-2,4 г/см³, температура плавления 585-600 °С, цвет от темно-коричневого до красного и фиолетового. Красный фосфор практически не растворяется ни в одном растворителе,
- **в темноте не светится**

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Горение белого фосфора

Белый фосфор горит в кислороде. Удивительно, что это может происходить и под водой. Нагреем фосфор в пробирке с водой до начала плавления фосфора. Подадим кислород в пробирку с расплавленным фосфором. Соприкоснувшись с пузырьками кислорода, белый фосфор загорается.



Оборудование: газометр, стакан химический, пробирка.

Техника безопасности. Опыт следует проводить под тягой. Соблюдать правила обращения с белым фосфором. Не допускать попадания белого фосфора на кожу.



ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

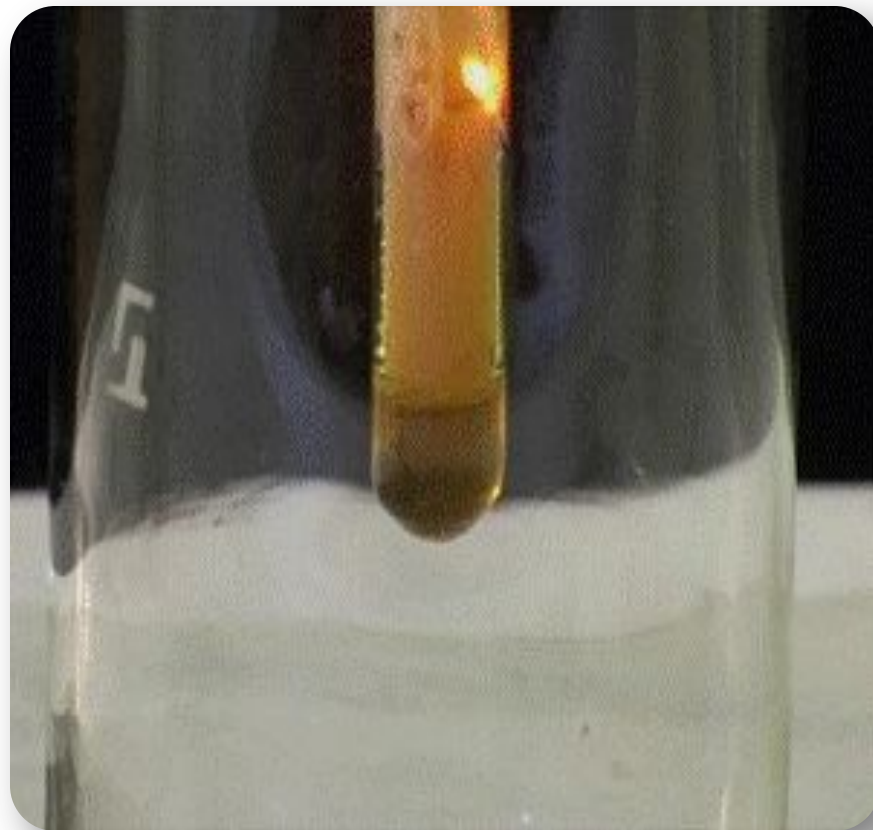
Взаимодействие с азотной кислотой

Безводная азотная кислота – сильный окислитель. Поэтому она легко взаимодействует с красным и белым фосфором. Реакция с белым фосфором протекает очень бурно. Иногда она сопровождается взрывом. В небольшую пробирку осторожно нальем немного азотной кислоты. В целях безопасности поместим пробирку в стакан. Осушим кусочек белого фосфора и бросим в пробирку с кислотой. Через несколько секунд белый фосфор расплавляется и энергично сгорает. Продуктами взаимодействия белого фосфора с кислотой являются метафосфорная кислота, оксиды азота и вода.



Оборудование: стакан толстостенный, закрепленная в стакане пробирка, пинцет, скальпель, фильтровальная бумага.

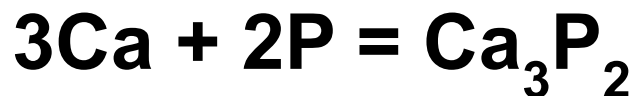
Техника безопасности. Опыт должен проводиться под тягой и в защитных перчатках. Соблюдать правила обращения с концентрированными кислотами и с белым фосфором. Не допускать попадания фосфора на кожу.



ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Взаимодействие с кальцием

Красный фосфор при нагревании взаимодействует с активными металлами. Смешаем опилки кальция с порошком красного фосфора. Поместим смесь в стеклянную трубку. Нагреем смесь. Взаимодействие фосфора с кальцием сопровождается вспышками. В результате реакции образуется фосфид кальция – твердое вещество светло-коричневого цвета.



Часть красного фосфора при нагревании и от теплоты протекающей реакции превращается в белый фосфор. Пары белого фосфора загораются при выходе из трубки.

Оборудование: штатив, трубка стеклянная, горелка, палочка стеклянная.

Техника безопасности. Соблюдать правила обращения с белым фосфором. Не допускать попадания белого фосфора на кожу. Опыт проводить под тягой.



ОКСИДЫ ФОСФОРА

P_2O_5 - оксид фосфора (V) (фосфорный ангидрид),

- в парообразном состоянии имеет состав P_4O_{10} . Он представляет собой белый порошок, температура плавления $422\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура кипения $591\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Оксид фосфора (V)
гигроскопичен .
- Получают его сжиганием фосфора в **избытке** сухого воздуха.
- $4P + 5O_2(\text{изб.}) = 2P_2O_5$
- **Это кислотный оксид**
- (вспомни свойства кислотных оксидов).
При соединении с водой образует две кислоты:



- **метафосфорная кислота**



- **ортофосфорная кислота**

применение

- Применяют оксид фосфора (V) для осушки газов и жидкостей, не реагирующих с ним, для получения фосфорных кислот, оксид фосфора является компонентом фосфатных стекол.

P_2O_3 (P_4O_6) - оксид фосфора (III) (фосфористый ангидрид),

- температура плавления $-23,9\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- температура кипения $-175,4\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- плотность -
- $2,135\text{ г/см}^3$.
- Получают его окислением фосфора кислородом воздуха:
- $\text{P}_4 + 3\text{O}_2 (\text{нед.}) = \text{P}_2\text{O}_6$.
- Это кислотный оксид:
- $\text{P}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{PO}_3$.

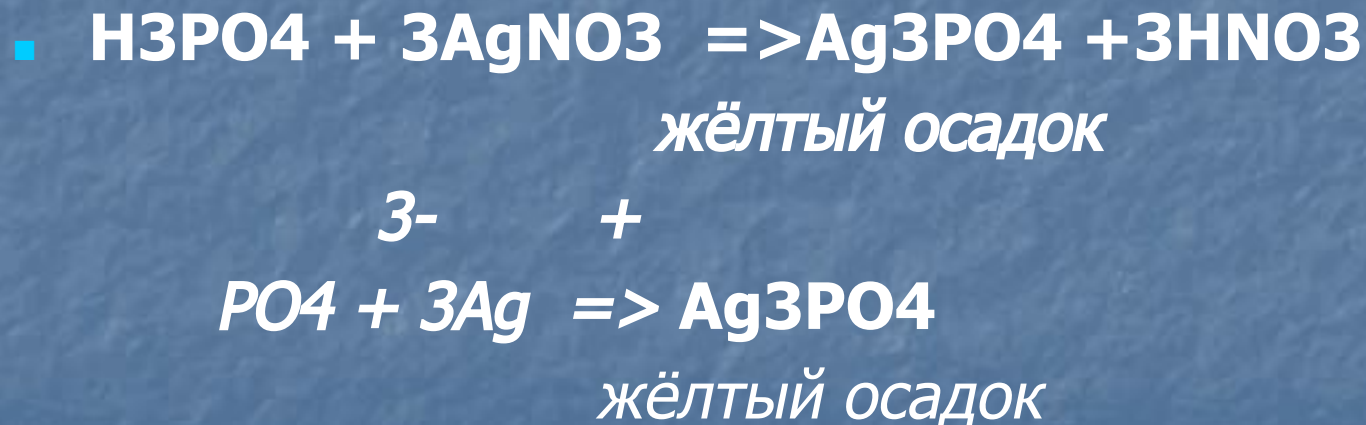
ОРТОФОСФОРНАЯ КИСЛОТА

- **H_3PO_4** - трехосновная минеральная кислота.

- **2.Физические свойства:**

- Безводная ортофосфорная кислота - это бесцветное кристаллическое вещество, плавящееся при $t = 42,35\text{ }^{\circ}\text{C}$, хорошо растворима в воде.

Качественная реакция на фосфат ион PO_4^{3-}



4.Применение.

- H_3PO_4 используют для получения фосфорных удобрений, для создания защитных покрытий на металлах, в фармацевтической промышленности, в органическом синтезе.
- Ортофосфорная кислота играет большую роль в жизнедеятельности животных и растений.
- Её остатки входят в состав аденозинтрифосфорной кислоты – АТФ, при разложении
- которой выделяется большое количество энергии. Остатки ортофосфорной кислоты входят так же в состав рибонуклеиновых (РНК) и дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК)



КРУГОВОРОТ В ПРИРОДЕ

