

Так, для установления 375 пробы золота используют раствор с массовой долей азотной кислоты, равной 59,5 % (плотность раствора 1,4 г/см<sup>3</sup>). Определите молярную концентрацию кислоты в указанном растворе.

7. В качестве противовоспалительного средства при хроническом гастрите и язве желудка пациентам назначают 0,06 %-й раствор AgNO<sub>3</sub>. Рассчитайте массу и химическое количество нитрата серебра(I), необходимого для приготовления такого раствора объемом 500 см<sup>3</sup> с плотностью 1 г/см<sup>3</sup>.
8. Пользуясь текстом параграфа и информацией из Интернета, составьте схемы применения: а) азотной кислоты, б) нитратов. По составленным схемам подготовьте рассказ о применении этих веществ.

## § 27. Фосфор — химический элемент и простое вещество

В периодической системе химических элементов неметалл **фосфор Р** расположен в третьем периоде в VA-группе. Рассмотрим свойства этого химического элемента и образуемых им простых веществ более подробно.

### Фосфор в природе

Из-за высокой химической активности фосфор в природе в свободном виде не встречается. В почве и в горных породах он содержится в виде солей фосфорной кислоты — **фосфатов**. Так, фосфат кальция Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> является основным компонентом минерала апатита (рис. 77). В виде соединений фосфор входит в состав костной, мышечной и нервной тканей человека и животных. В организме взрослого человека содержится около 0,75 кг этого элемента. Много соединений фосфора в нервных клетках, что позволило известному геохимику А. Е. Ферсману назвать фосфор «элементом мысли». В костях человека и позвоночных животных большое



количество фосфора содержится именно в виде фосфата кальция. Растениям фосфор необходим для формирования и развития семян и плодов.

Фосфор поступает в организмы человека и животных с растительной пищей и продуктами питания. Растения, в свою очередь, усваивают фосфор из

Рис. 77. Апатит

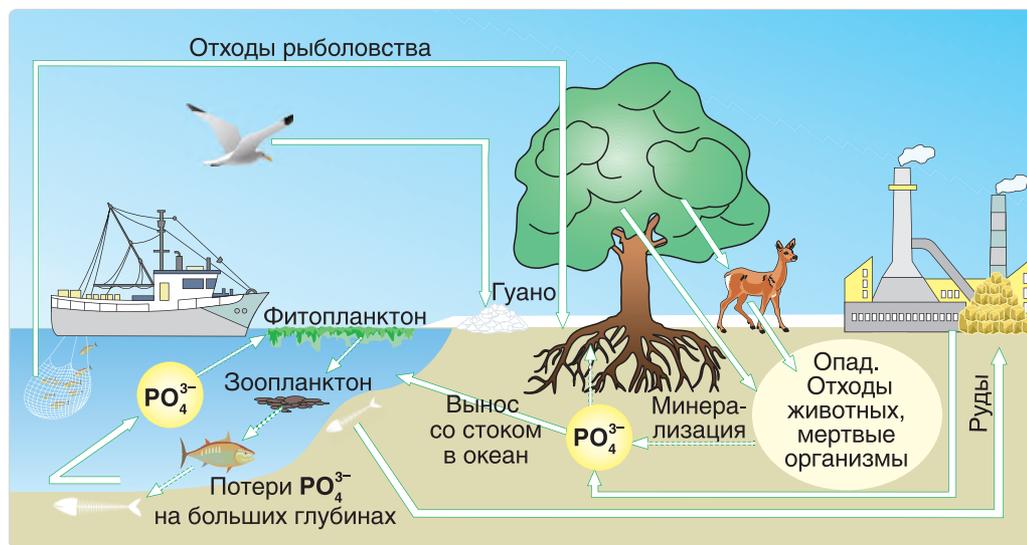
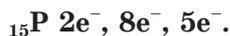


Рис. 78. Круговорот фосфора в природе

почвы. При гниении остатков животных и растений фосфор возвращается в почву. Так осуществляется круговорот фосфора в природе (рис. 78).

### Строение атомов фосфора

В атоме фосфора имеется 15 электронов, которые располагаются на трех электронных слоях:



На внешнем электронном слое у атомов фосфора, так же как и у атомов азота, имеется по 5 электронов. В соединениях с металлами и водородом фосфор проявляет степень окисления, равную  $-3$ , например в фосфиде кальция  $\text{Ca}_3\text{P}_2$ . Максимальная положительная степень окисления, проявляемая атомами фосфора в соединениях, равна  $+5$ , например в фосфорной кислоте  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Для атомов фосфора также характерна степень окисления  $+3$ , например во фториде фосфора  $\text{PF}_3$ .

### Строение и физические свойства простых веществ

Фосфор образует несколько аллотропных модификаций, которые называются белым, красным и черным фосфором.

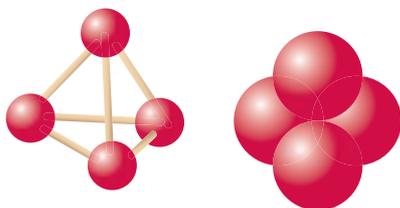


Рис. 79. Схема строения и модель молекулы белого фосфора

*Белый фосфор* состоит из молекул  $P_4$ , имеющих форму тетраэдра. В таких молекулах каждый из четырех атомов фосфора связан ковалентной связью с тремя остальными (рис. 79). Как молекулярное соединение белый фосфор легко плавок и летуч. **Белый фосфор — сильно ядовитое вещество**, воспламеняется на воздухе, светится в темноте. Хранят его под слоем воды.



Белый фосфор впервые был получен из мочи алхимиком Хённигом Брандтом в 1669 г. в виде массы, светящейся в темноте. Отсюда произошло и название этого элемента (фосфор в переводе с греческого означает «светоносный»).

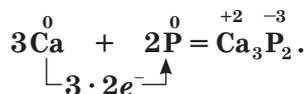
На свету и при нагревании до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  без доступа воздуха белый фосфор превращается в порошок, цвет которого может быть от красно-бурого до красного и фиолетового (красный фосфор). *Красный фосфор* не летуч, не растворим в воде, не ядовит.

Красный и черный фосфор, с которым вы подробнее познакомитесь в курсе химии 11-го класса, имеют сложную структуру.

### Химические свойства фосфора

Химически фосфор достаточно активен — непосредственно соединяется со многими простыми веществами с выделением большого количества теплоты. При этом фосфор проявляет как окислительные, так и восстановительные свойства.

**Окислительные** свойства фосфора проявляются при его взаимодействии с наиболее активными металлами. При этом образуются *фосфиды*:



**Восстановительные** свойства фосфора проявляются при его взаимодействии с кислородом. Но у разных модификаций фосфора химическая активность различна. Например, белый фосфор при комнатной температуре легко окисляется на воздухе с образованием *оксида фосфора(III)*:

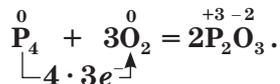
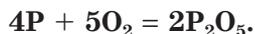


Рис. 80. Горение красного фосфора в кислороде



Окисление белого фосфора сопровождается свечением. Белый и красный фосфор при поджигании загораются и горят ослепительно ярким пламенем (рис. 80) с образованием белого дыма *оксида фосфора(V)*:



### Применение фосфора

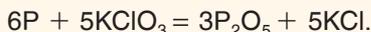
Фосфор используют в производстве фосфорной кислоты и фосфорных удобрений, полупроводниковых материалов как компонент покрытий стальных изделий и т. д. (рис. 81). Белый фосфор применяют для изготовления трассирующих боеприпасов как дымообразующее и зажигательное средство, красный фосфор — основной компонент смеси для спичечных коробков.



Рис. 81. Применение фосфора



Современные спички, зажигающиеся при трении о специальную поверхность, были изобретены в Швеции в 1855 г. На боковые поверхности спичечного коробка наносят массу, состоящую из красного фосфора, оксида железа(III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , соединений сурьмы и марганца с примесью измельченного стекла и клея. В состав спичечной головки входят хлорат калия  $\text{KClO}_3$ , сера, наполнители и клей. При трении спичечной головки о фосфорные намазки происходит воспламенение:



*Фосфор образует несколько аллотропных модификаций — белый, красный и черный фосфор.*

*Белый фосфор — сильно ядовитое вещество.*

*Фосфор проявляет восстановительные свойства в реакции с кислородом и окислительные — в реакциях с активными металлами.*



### Вопросы и задания

1. В виде каких соединений фосфор находится в природе?
2. Перечислите аллотропные модификации фосфора.
3. Как доказать, что белый и красный фосфор являются аллотропными модификациями одного и того же элемента?
4. Почему белый фосфор нельзя хранить на воздухе? Подтвердите ответ записью уравнения реакции.
5. Запишите уравнения реакций, характеризующие химические свойства фосфора.
6. Определите степени окисления атомов фосфора в следующих соединениях:  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{Mg}_3\text{P}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .
7. Рассчитайте химическое количество и массу оксида фосфора(V), который получится при сжигании фосфора массой 70 г в кислороде. Какой объем (н. у.) кислорода для этого понадобится?
8. Подготовьте сообщения: 1) об истории спичек; 2) о биологической роли фосфора и его соединений.

## § 28. Кислородсодержащие соединения фосфора

Среди неорганических соединений фосфора наибольшее значение имеют его оксиды, фосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и ее соли.

### Оксиды фосфора

В зависимости от условий окисления фосфора можно получить оксид фосфора(III)  $\text{P}_2\text{O}_3$  или оксид фосфора(V)  $\text{P}_2\text{O}_5$ .