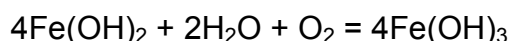
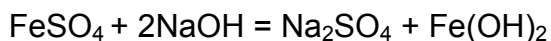


## Реакции с участием воздуха

В.Н. Витер

Во время химических экспериментов мало кто задумывается, что нас окружает целый океан воздуха. Об атмосферном кислороде мы иногда вспоминаем, когда зажигаем спиртовку или газовую горелку, поджигаем водород или наблюдаем за вспышкой магния. Но для таких реакций, как нейтрализация кислоты щелочью, осаждение сульфата бария, рост «химических водорослей» или образование кроваво-красного роданида железа, присутствие атмосферного кислорода несущественно. То же самое можно сказать и о большинстве других реакций, которые протекают в растворах.

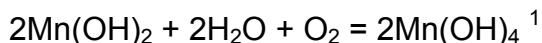
Оказывается, что так бывает далеко не всегда, ведь кислород – довольно сильный окислитель. В большинстве случаев окислительные свойства  $O_2$  проявляются при повышенной температуре, но кислород способен вступать в реакции уже при комнатной температуре, причем с вполне заметной скоростью. Например, если на соль железа (II) подействовать раствором щелочи или аммиака, то выпадет белый (или зеленоватый) осадок гидроксида железа (II). При стоянии на воздухе осадок быстро становится бурым – в результате окисления  $Fe(OH)_2$  до  $Fe(OH)_3$ :



Окисление гидроксида железа (II) до гидроксида железа (III) при стоянии на воздухе



Аналогично ведет себя почти белый осадок гидроксида марганца (II). При контакте с воздухом он быстро становится бурым в результате окисления.



Если встряхнуть на воздухе голубой раствор сульфата двухвалентного хрома, то он сразу же станет зеленым - Cr(II) окислится до Cr(III). Подобным образом ведет себя и двухвалентный ванадий.

Теперь приступим к эксперименту. В коническую колбу на 300 мл налейте на 2/3 объема воды. Растворите в ней примерно 0.5 гр соли меди (II) – сульфата, ацетата или хлорида. Образуется голубой раствор. Небольшими порциями добавляйте к раствору концентрированный аммиак. Сначала будет образовываться голубой осадок гидроксида меди  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , который растворится в избытке аммиака с образованием синего аммиачного комплекса меди (II):



1



2



3

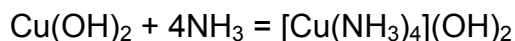
1 – раствор ацетата меди

2 – при действии аммиака образуется голубой осадок гидроксида меди

3 – в избытке аммиака гидроксид меди растворяется с образованием аммиачного комплекса меди

фото В.Н. Витер

<sup>1</sup> Последнюю формулу правильнее изображать так:  $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$



После полного растворения осадка прилейте к раствору еще немного аммиака.

Теперь добавьте в колбу кусочки зачищенной медной проволоки или стружки, чтобы она полностью покрыла дно колбы. После этого долейте немного воды так, чтобы свободный объем в колбе был 20-30 мл и герметично закройте ее пробкой. Если под рукой нет колбы, то вполне подойдет и обыкновенная бутылка из бесцветного стекла.

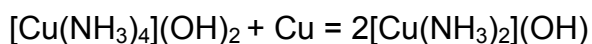
Оставим колбу стоять в укромном месте, перемешивая ее содержимое по несколько раз в день (следите, чтобы при этом не открылась пробка). Постепенно синий раствор станет бледнеть и со временем обесцветится. Скорость этого процесса зависит от условий (температуры, количества соли меди, взятой для эксперимента, частоты перемешивания и др.). В нашем случае для полного обесцвечивания раствора понадобилось 2-3 недели.



**Раствор  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$  в колбе с металлической медью. Слева – сразу же после приготовления, справа – после трех недель стояния** фото В.Н. Витер

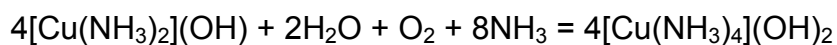


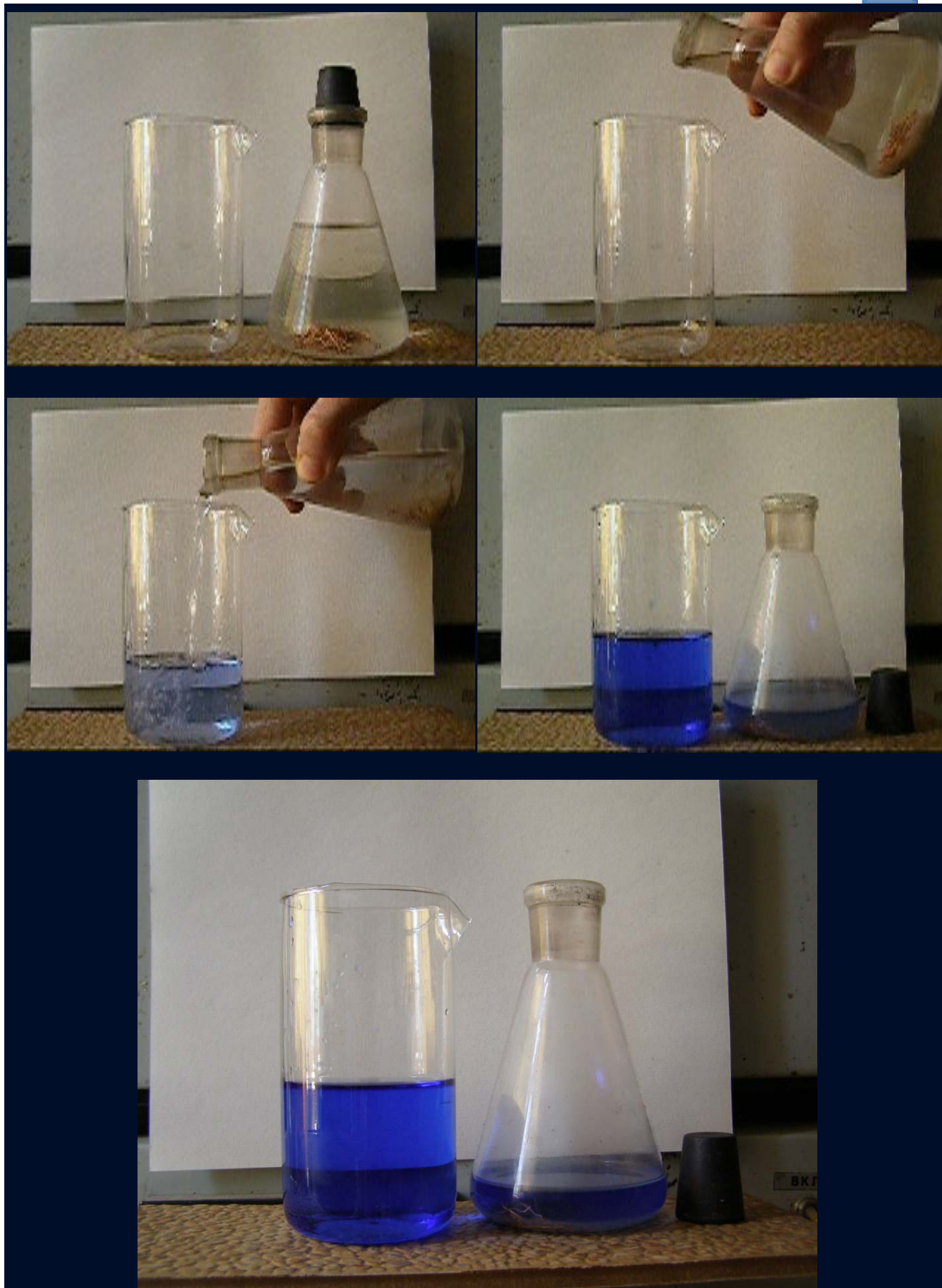
Химизм этого процесса довольно прост. При взаимодействии меди с аммиачным комплексом Cu(II) образуется бесцветный аммиачный комплекс одновалентной меди. В результате этого синяя окраска раствора исчезает:



Все подготовительные операции закончены. Теперь сам опыт. Поставьте колбу на белый фон, а рядом с ней - пустой стакан (или банку). Зрители наблюдают закрытую колбу с бесцветным раствором. Предложите всем желающим убедиться, что в стакане ничего нет. Теперь откройте колбу и медленно перелейте раствор в стакан. От контакта с воздухом бесцветная жидкость станет слегка синей. Если содержимое стакана перемешать или продуть через него воздух с помощью пипетки, окраска раствора будет усиливаться, пока раствор не станет интенсивно синим. Впрочем, жидкость станет синей и без посторонней помощи, просто этот процесс будет длиться дольше, поскольку для диффузии кислорода в раствор нужно время.

Аммиачный комплекс одновалентной меди легко окисляется кислородом воздуха до синего аммиачного комплекса двухвалентной меди:





**Окисление аммиачного комплекса меди (I) кислородом воздуха во время переливания раствора** фото В.Н. Витер



В заключении перелейте раствор из стакана обратно в колбу и закройте ее пробкой. В отсутствии воздуха медь постепенно восстановит аммиакат Cu(II) до бесцветного аммиаката Cu(I), и опыт можно будет повторить снова.

Есть и более быстрый вариант этого эксперимента.

В колбу налейте раствор  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$  – примерно на половину объема. К жидкости небольшими порциями добавляйте раствор аскорбиновой кислоты – до полного обесцвечивания. В данном случае роль восстановителя играет не металлическая медь, а аскорбиновая кислота, с той разницей, что в последнем случае реакция происходит быстро. При этом также образуется бесцветный  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2](\text{OH})$ .

Закройте колбу пробкой и хорошенько встряхните – содержимое опять станет синим. При этом аммиакат одновалентной меди окислится воздухом до аммиаката двухвалентной. Но если в колбе еще остался избыток аскорбиновой кислоты, вскоре произойдет обратный переход – содержимое без видимых причин снова обесцветится. Такой эксперимент можно повторять несколько раз. Иногда при стоянии на воздухе верхняя часть раствора становится синей, а основная масса остается бесцветной.



pinker.wjh.harvard.edu