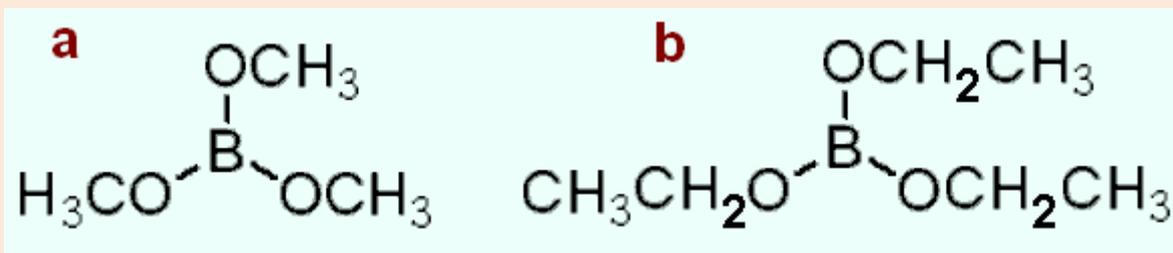


«Холодное» пламя (этиловый и метиловый эфиры борной кислоты)

В.Н. Витер

Подобно другим неорганическим и органическим кислотам борная кислота H_3BO_3 образует эфиры со спиртами. Наиболее известным из эфиров борной кислоты является триэтилборат $\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ и триметилборат $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ ¹.



Строение молекул триметилбората (a) и триэтилбората (b)

Данные эфиры имеют разнообразные применения, но широкую известность они получили благодаря двум обстоятельствам.

Во-первых, эти вещества горят зеленым пламенем. Учитывая, что метиловый и этиловый эфиры борной кислоты легко образуются, их используют для демонстрационных экспериментов.

Во-вторых, среди «широкой публики» и даже среди химиков бытует убеждение, что триэтилборат горит холодным пламенем. Например, приходилось встречать утверждения:

«пламя триэтилбората имеет температуру 40 °С»;

«пламя триэтилбората настолько холодное, что не поджигает бумагу, в нем можно свободно держать руку».

Довольно показательной в этом отношении является статья в Википедии о

¹ Эфиры борной кислоты с этиловым $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и метиловым CH_3OH спиртом соответственно, другое название – борноэтиловый и борнометиловый эфир.

холодном пламени. Приведем дословную цитату:

«Холодный огонь (также холодное пламя, «холодное воспламенение» и «необжигающее пламя») — одна из низкотемпературных разновидностей пламени в химии. Используется также в религиозно-ритуальных целях, фейерверках и создания различных спецэффектов. Многие эфиры органических и неорганических кислот могут гореть холодным огнем. Самый известный из них — это этиловый эфир борной кислоты, который можно приготовить и в домашних условиях путем смешения в определенных пропорциях следующих веществ: сухая борная кислота, этиловый спирт, концентрированная серная или соляная кислота. Поджигается при этом лишь выделяющийся над смесью эфир, горящий очень объемным *огнем зеленоватого оттенка, который не только не обжигает, но даже и не греет поднесенную руку. При горении данного эфира образуется аэрозоль борной кислоты, который не видно невооруженным глазом, но его можно обнаружить газоанализатором.* После выгорания эфира может начать гореть сам этиловый спирт в смеси внизу, пламя которого высокотемпературно и действительно обжигает. Данный переход от холодного пламени к горячему близок ритуалу, получившему название «нисхождение огня» (Огонь который, который, как утверждают православные христиане, самостоятельно возгорается в центральной части храма, не обжигает первое время - приблизительно минуту). Химическую гипотезу объяснения данного явления наблюдаемого за день перед Пасхой отмечаемой Православной церковью по Юлианскому календарю. Между тем критики не приводят фактов и свидетельств, доказывающих использование данного метода. Кроме того гипотеза не согласуется с рядом наблюдаемых фактов: паломники в храме используют обычные восковые свечи, привезенные собой или купленные в лавках города, пламя по цвету не отличается от обычного, а процесс его передачи (возжигание одной свечи от уже горящей) задокументирован на видеопленку.»

Большую часть этого текста с массой очевидных неточностей и явной антинаучной направленностью даже не стоит комментировать. Все-таки не удержусь от небольшой реплики: пламя триэтилбората якобы холодное, но если вы внесли в него руку и обожглись (что неприменимо произойдет, если сразу же не убрать руку) – виноват не триэтилборат, а этиловый спирт.

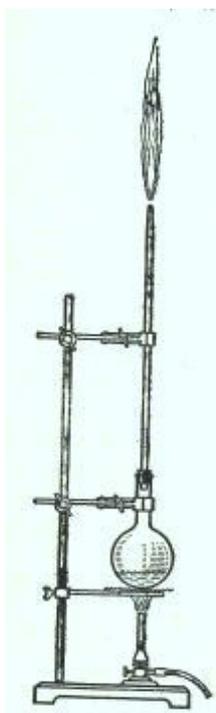
Приходилось также видеть демонстрацию «холодного пламени» триэтилбората. Экспериментатор внес в пламя борноэтилового эфира бумагу и сразу же убрал ее подальше. Бумага действительно не загорелась, но все было сделано настолько быстро, что если бы экспериментатор взял вместо бумаги пироксилин (бездымный порох), а вместо триэтилбората – бензин, то и пироксилин вряд ли бы успел загореться.

Меня эта тема очень заинтересовала, но скажу сразу, что я был настроен весьма скептически: если пламя светится, значит, в нем есть возбужденные частицы (атомы, молекулы, свободные радикалы). А переход в возбужденное состояние требует высокой энергии. Мерой средней кинетической энергии молекул является температура. Высокая энергия молекул означает высокую температуру.

Метилловый и этиловый эфиры борной кислоты образуются довольно легко, а

чтобы наблюдать их горение, данные вещества совсем не обязательно выделять в индивидуальном состоянии. Для этого смешивают борную кислоту и соответствующий спирт, добавляют несколько миллилитров серной кислоты, хорошо перемешивают и поджигают. Смесь горит зеленым пламенем.

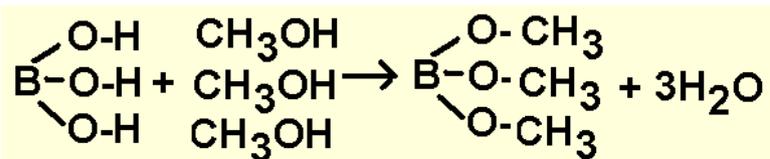
В практикуме **Ф.П. Платонов Лекционные опыты и демонстрации по общей и неорганической химии** рекомендуется более сложный вариант эксперимента:



Эскиз установки

В круглодонную колбу на 250 мл помещают 5-10 г борной кислоты, 50-100 мл метилового или этилового спирта и 5-10 мл концентрированной серной кислоты. Колбу плотно закрывают пробкой с длинной трубкой диаметром 1 см со слегка оттянутым верхним концом и укрепляют в лапке штатива. Под колбу на кольцо подкладывают асбестовую сетку. Смесь нагревают до кипения. Пары спирта и борнометилового (борноэтилового) эфира поджигают у оттянутого конца трубки. Сгорая, они образуют яркое пламя, окрашенное в красивый зеленый цвет. Сверху пламени заметен белый дым оксида бора, который образуется при горении борнометилового (борноэтилового) эфира.

Борная кислота образует с метиловым спиртом борнометиловый эфир (в присутствии серной кислоты как водоотнимающего средства):



Пары борнометилового эфира горят ярко-зеленым пламенем:



(в случае борноэтилового эфира реакции аналогичны).

Итак, наша цель – установить является ли пламя метилового и этилового эфиров борной кислоты холодным. Для этого я провел упрощенный эксперимент.

В фарфоровую выпарную чашку (или в чашку Петри) поместил этиловый спирт, борную кислоту и немного серной кислоты (вещества брал «на глаз», стараясь придерживаться приведенных выше пропорций). Содержимое перемешал и поджег.

Появилось красивое зеленое пламя, когда внес в него бумажку, она немедленно загорелась. Аналогичные результаты дал эксперимент с метиловым спиртом.

Бумажка загоралась независимо от того, когда ее вносили в пламя: сразу же после начала горения, через некоторое время или когда смесь уже начинала гаснуть.

Таким образом, триэтилборат и триметилборат дают горячее пламя, в котором легко загорается бумага. Проверять утверждение, что «эфир [борной кислоты] горит огнем, который не только не обжигает, но даже и не греет поднесенную руку» почему-то не захотелось.

К сожалению, пламя смеси не всегда бывает чисто-зеленым: иногда появляется желтый цвет. Это имеет место и в случае этилового, и в случае метилового спирта.



Образование и горение триэтилбората

фото В.Н. Витер



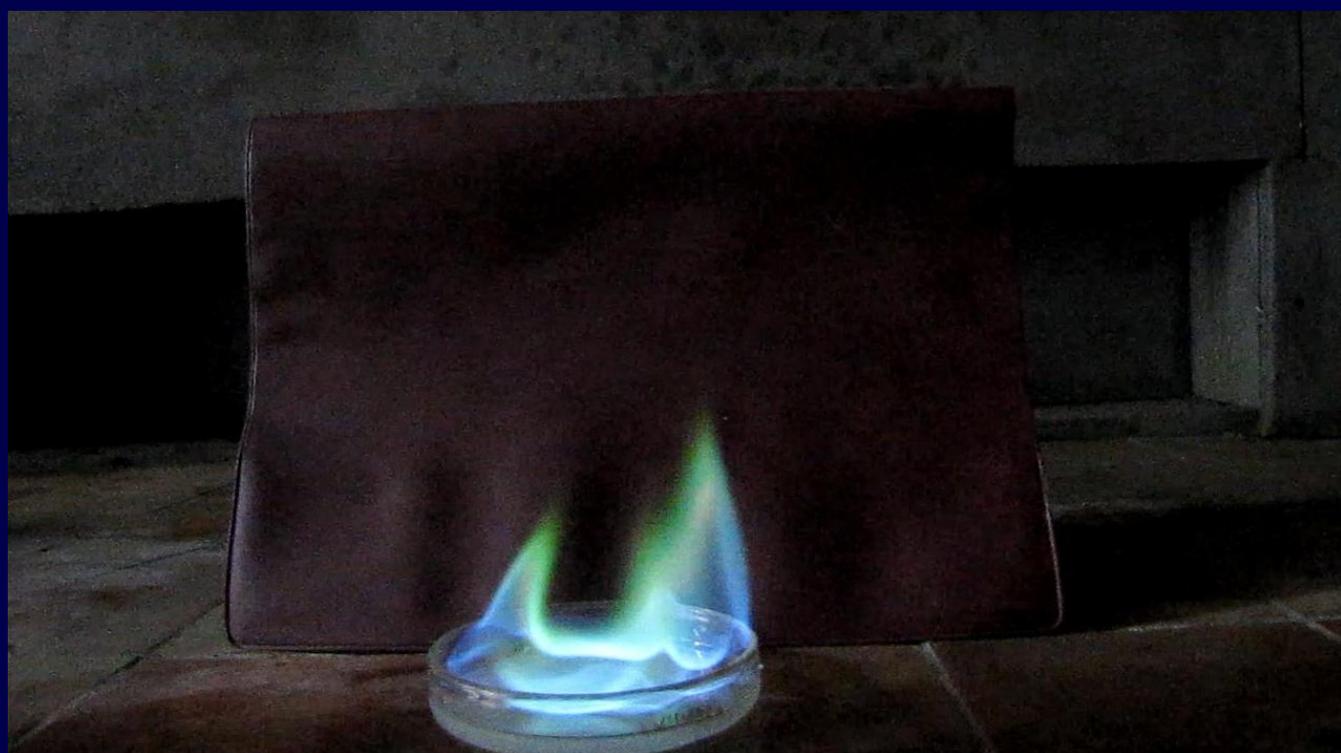




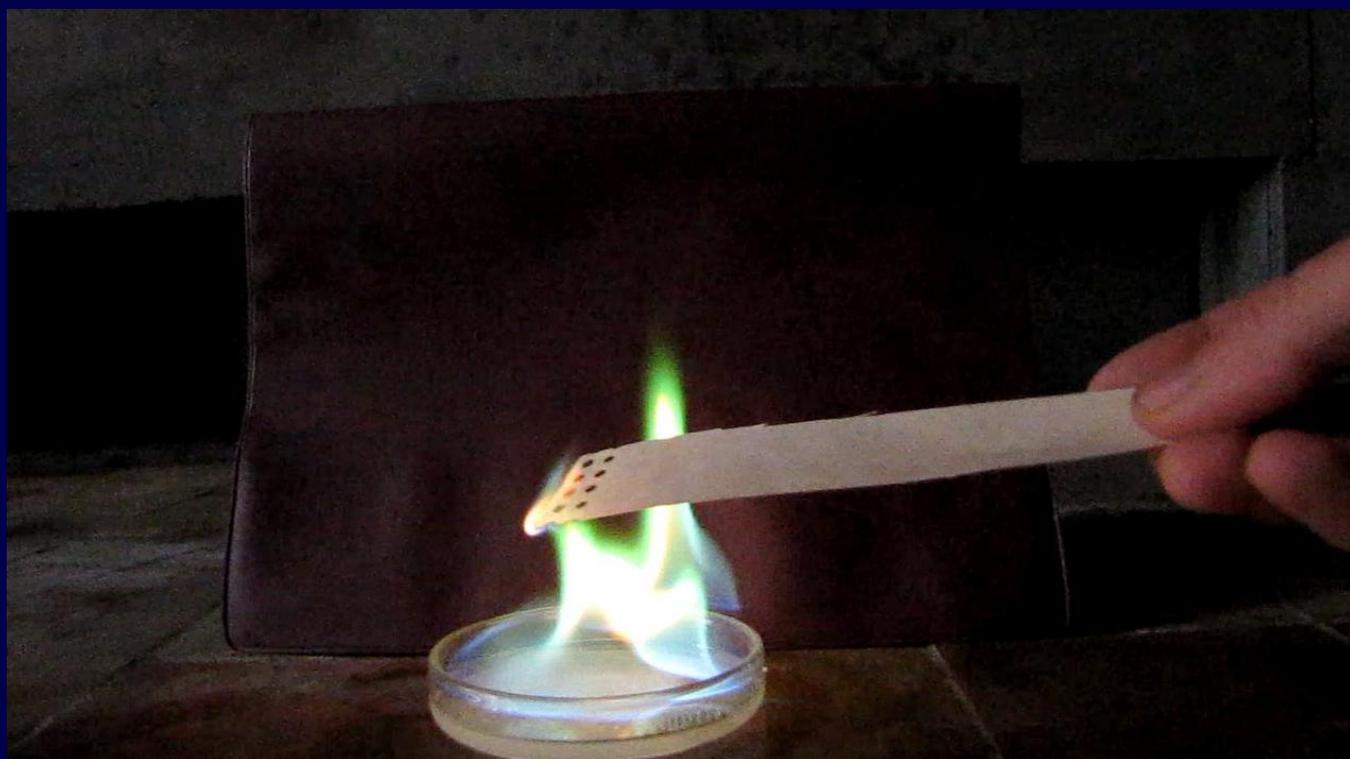




























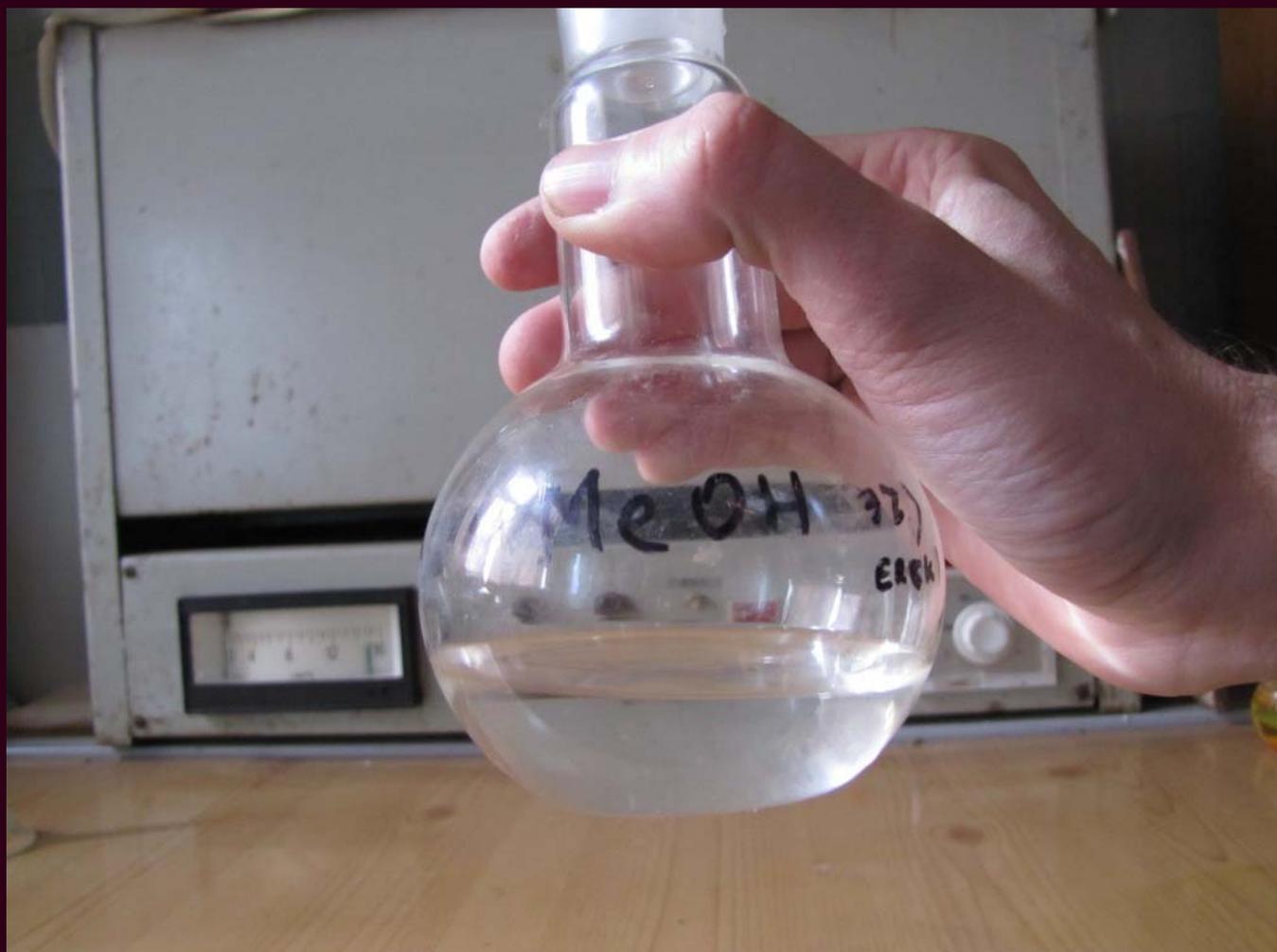












Метанол





Образование и горение триметилбората

















