

«ХОЛОДНЫЙ» ОГОНЬ

В.Н. Витер

Читателям, безусловно, приходилось видеть фокусы с «холодным» огнем. При этом часто говорят, что холодный огонь можно без вреда держать у себя на ладони, можно спокойно вносить в него руки, а иногда делать куда более экстравагантные вещи. Попробуем проверить: так ли это.

Огонь на ладони

В книге Leonard A. Ford *Chemical Magic* (1959) содержится любопытный рецепт. Автор рекомендует приготовить смесь из 40 мл тетрахлорида углерода CCl_4 и 60 мл сероуглерода CS_2 , нанести несколько миллилитров этой смеси на ладонь и поджечь. Смесь сгорит желтым пламенем, не причинив вреда ладони.

34

CHEMICAL MAGIC

COLD FIRE

Action:

You pour a few ml. of liquid in the palm of your hand. Someone brings a burning piece of paper to the liquid and lights it. The flame has a yellow glow.

You Need:

A mixture of 60 ml. of carbon disulfide and 40 ml. of carbon tetrachloride.

Why:

Cooling by rapid evaporation prevents burning of the hand.



Suggestions:

Should you be afraid to burn the liquid in your hand, you might pour it on a handkerchief which will be unharmed by fire.

The amount of liquid in the palm of the hand should be small or it will seep around to the back of the hand.

This experiment is fairly safe and could even be tried on a willing member of the audience. Remember, however, that you are dealing with fire.

The demonstration is especially effective in a darkened room.

Use a freshly prepared solution. On standing, the volatile carbon tetrachloride may evaporate leaving a mixture that may cause burns.

Опыт выглядит особенно эффектно в темном помещении.

Автор книги утверждает, что охлаждение за счет резкого испарения смеси предотвращает ожог.

Прочитав описание, я отнесся к нему достаточно скептически. Первое, что вызвало серьезные сомнения – тетрахлорид углерода (тетрахлорметан, четыреххлористый углерод) может с успехом быть использован для тушения пожаров, поскольку его тяжелые пары преграждают доступ воздуха к горючим веществам. Единственное, что мешает массовому применению тетрахлорметана для этих целей – образование токсичного фосгена.

Другими словами, возникли сомнения, что смесь почти равных количеств CCl_4 и CS_2 будет гореть. Сероуглерода под рукой не оказалось, но возникла идея использовать вместо него циклогексан.

Была приготовлена смесь из 5 мл тетрахлорметана и 5 мл циклогексана. Смесь при поджигании загоралась, но потом гасла. Как правило, горение продолжалось несколько секунд.

Смесь из 6 мл CCl_4 и 4 мл C_6H_{12} при поджигании загоралась, но после короткой вспышки горение прекращалось.

Смесь из 7 мл CCl_4 и 3 мл C_6H_{12} не горела, но ее удавалось поджечь, пропитав этой смесью вату.

Для экспериментов была выбрана первая смесь: 5 мл тетрахлорметана и 5 мл циклогексана, т.е. $\text{CCl}_4 : \text{C}_6\text{H}_{12}$ (1 : 1).

Ладонь смачивают водой. Это необходимо не для защиты от высокой температуры (мокрая кожа наоборот значительно лучше проводит тепло, чем сухая), а для того, чтобы смесь не впитывалась в кожу.

После этого ладонь держат горизонтально, наливают в нее около 1-2 мл смеси и поджигают. Вспыхнет желтое коптящее пламя. Примерно 2-3 секунды пламя не причиняет неудобств, потом самостоятельно гаснет. Чистый циклогексан горел бы значительно дольше и успел бы серьезно обжечь руку. Но в случае смеси $\text{CCl}_4 - \text{C}_6\text{H}_{12}$ пары циклогексана сгорают, а пары тетрахлорметана накапливаются и преграждают доступ воздуха.

Если горение через несколько секунд не прекратится, пламя будет жечь. Его

гасят, быстро сжимая ладонь в кулак. Постарайтесь, чтобы горячая смесь не попала на нижнюю (внешнюю) часть ладони. Если смесь будет гореть под ладонью, пламя будет сильно жечь. При необходимости перед поджиганием лишнюю часть смеси стряхивают на пол, переворачивая ладонь.

Но почему огонь не причиняет ожог? Горение происходит не на поверхности ладони, а над ней, поэтому пламя ее греет не сильно. Присутствие тетрахлорида углерода, безусловно, понижает температуру пламени, но основная его роль не в этом: пары CCl_4 отсекают пламя от кожи и быстро его гасят. Ни о каком «охлаждении за счет быстрого испарения», как это утверждал Leonard A. Ford, не может быть и речи.

Задача экспериментатора: **успеть продемонстрировать зрителям пламя, но не успеть получить ожог**. Огонь холодным не бывает.

Наготове всегда держите мокрое полотенце, которым можно накрыть руку, если пламя выйдет из-под контроля. Разумеется, рядом должен стоять человек, способный в случае непредвиденных ситуаций подстраховать экспериментатора.

Обратите внимание, смесь нужно поджигать сразу же после нанесения ее на ладонь, в противном случае она может не загореться. Зажигалки от контакта со смесью и ее парами часто отказывают, поэтому нужно позаботиться о более надежном источнике пламени, иначе такая мелочь может испортить эксперимент.

При горении смеси образуется много копоти, может также образоваться фосген $COCl_2$. Хлорорганические соединения (тетрахлорид углерода и продукты хлорирования циклогексана) ядовиты для человека и животных, в частности, они разрушают печень. Эксперимент следует проводить в большом, хорошо проветриваемом помещении или на свежем воздухе.

В результате горения смеси распространяется запах, похожий на запах горелого поливинилхлорида (ПВХ). ПВХ используется для изоляции электропроводов, поэтому соседи могут подумать, что горит проводка (это и случилось во время съемки опытов).

После нескольких экспериментов рука пахла хлорорганикой около суток (несмотря на все попытки ее отмыть – вплоть до использования щелочи). Поэтому подобными опытами недопустимо увлекаться, а главное – не следует проводить их регулярно.

Теперь вернемся к эксперименту, описанному в начале раздела. Поскольку смесь тетрахлорметана и циклогексана в соотношении 5 : 5 горела, то не вызывает сомнений,

что близкая по составу смесь тетрахлорметана и сероуглерода 4 : 6 также загорится. Более того, благодаря высокой летучести сероуглерода вероятность получить ожог значительно меньше, чем в случае циклогексана. Однако, сероуглерод очень ядовит, налив сероуглерод на руку, вполне можно получить отравление, поэтому повторять такой эксперимент не стоит.



Эксперимент № 1



Горение смеси тетрахлорметана и циклогексана (1 : 1)

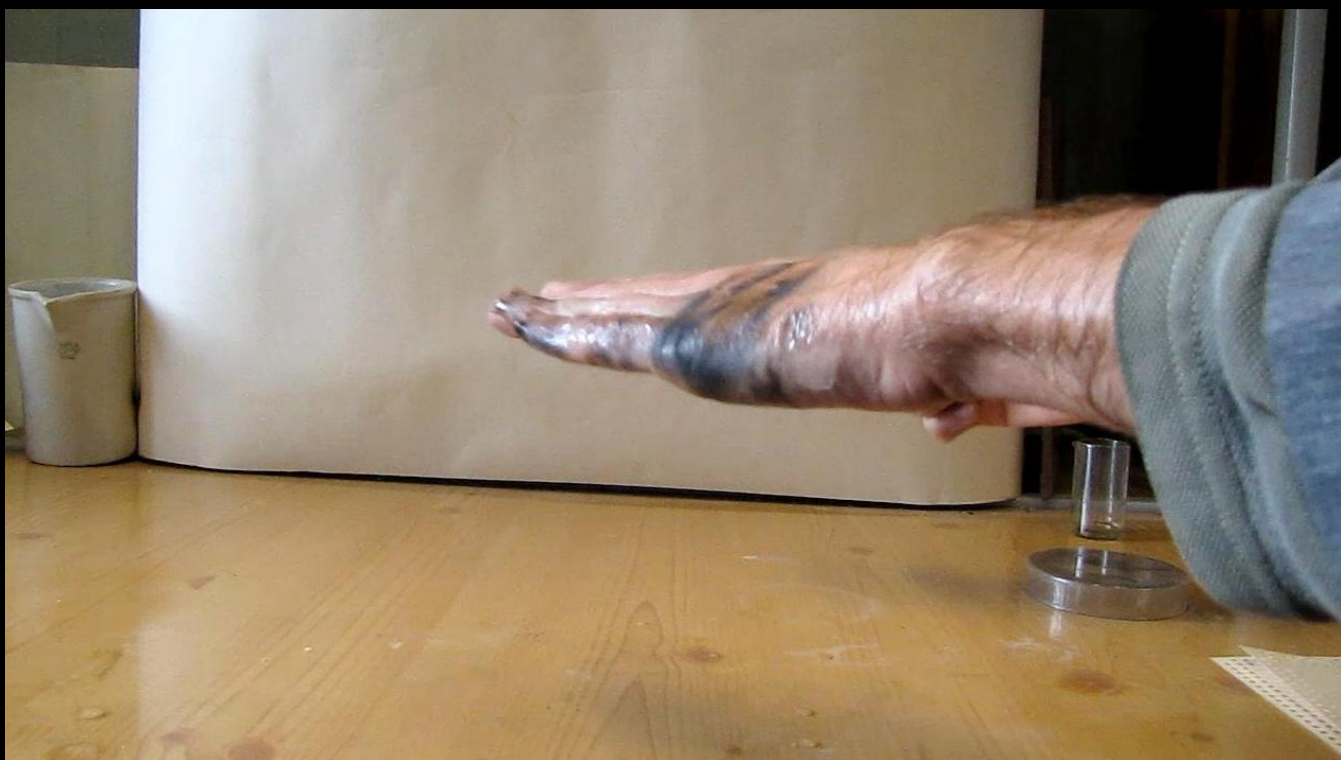
фото В.Н. Витер



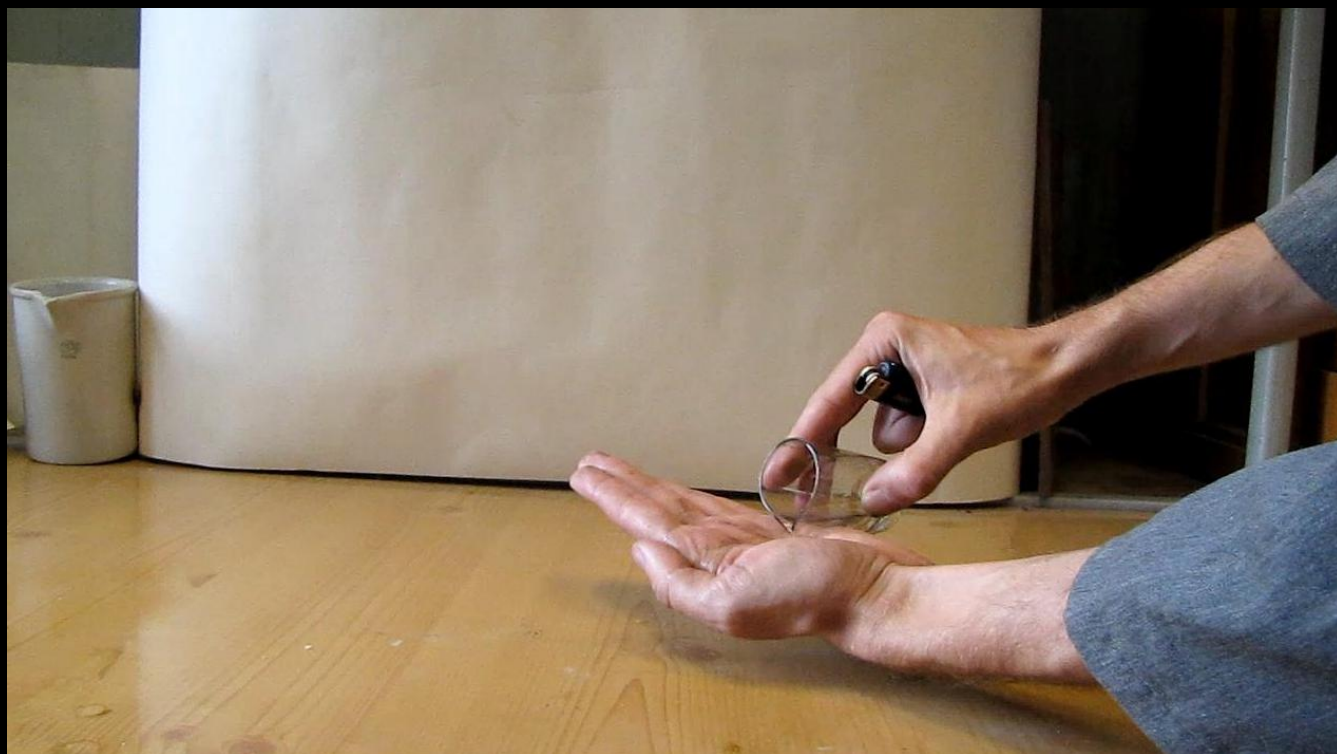








Эксперимент № 2









Эксперимент № 3





















Эксперимент № 4











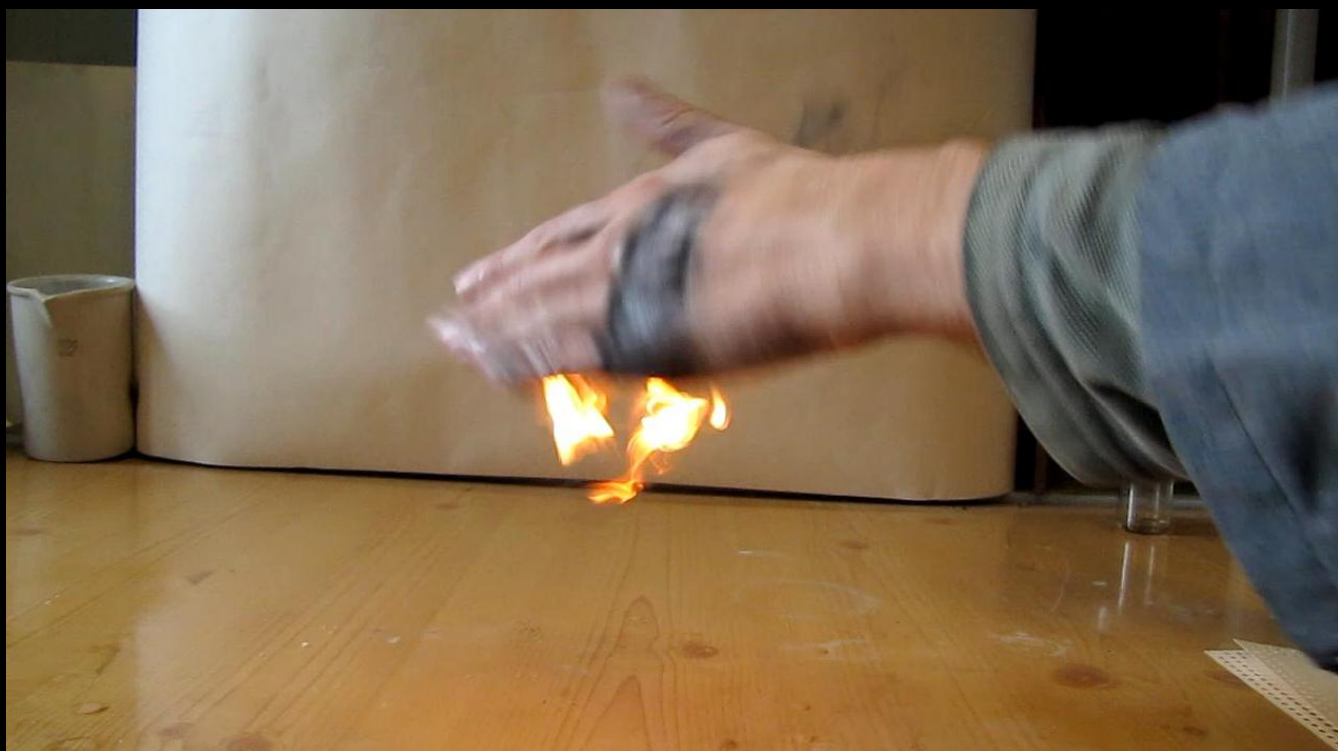
Эксперимент № 5















Горящая ладонь

Как было отмечено в предыдущей части статьи, смесь из 6 мл тетрахлорметана и 4 мл циклогексана [т.е. $\text{CCl}_4 : \text{C}_6\text{H}_{12}$ (3 : 2)] при поджигании вспыхивала, но сразу же гасла. Фактически, горели только пары, которые скопились над жидкостью. Когда пары циклогексана сгорали, в газовой фазе накапливался CCl_4 , новые порции паров уже не могли вспыхнуть, и горение прекращалось.

Если нанести такую смесь на ладонь и поджечь ее, как описано выше, происходила быстрая вспышка, на чем все и заканчивалось. Оказалось, что с данной смесью можно провести очень эффектный эксперимент, но для этого необходимо изменить технику проведения опыта. Фактически, пришлось отказаться от многих рекомендаций, приведенных в первой части статьи для смеси состава (1 : 1).

Итак, держите ладонь горизонтально¹ и налейте на нее примерно 4-5 мл смеси $\text{CCl}_4 : \text{C}_6\text{H}_{12}$ (3 : 2). При этом смесь должна хорошо смочить всю верхнюю и нижнюю поверхность ладони. Теперь слегка наклоните ладонь и подожгите ее пламенем горелки². Смесью сразу же вспыхнет и будет гореть как сверху, так и снизу ладони. Первое время пламя не будет жечь (или будет жечь умеренно). Очевидно, благодаря более высокому содержанию CCl_4 в смеси температура пламени ниже, а защитное действие паров тетрахлорметана сильнее, чем в предыдущем эксперименте.

Но есть и другой фактор. При просмотре видео эксперимента четко заметно, что огонь гаснет в одних местах ладони и вспыхивает в других. Другими словами, горение носит колебательный характер: в тех местах, где накапливаются пары тетрахлорметана, пламя гаснет, но оно успевает перекинуться на участки, где еще достаточно паров циклогексана. Со временем защитный слой паров CCl_4 над потухшими участками рассеивается, и если там еще осталось жидкое топливо, горение возвращается.

Разумеется, полагаться на естественный порядок вещей не стоит: горящую ладонь переворачивают, делают ей медленные движения в стороны (а иногда и не слишком медленные). Это необходимо, чтобы пламя гасло в одних местах, но вспыхивало в других. Когда пламя все-таки начнет жечь, погасите его несколькими резкими взмахами руки (просто сжать ладонь в кулак в данном случае недостаточно).

¹ Не забудьте предварительно смочить ладонь водой.

² Горелка не только надежнее спичек или зажигалки, но и красивее смотрится. Если пламя на руке погаснет, быстро зажгите его вновь.

В крайнем случае, пламя гасят, накрывая руку мокрым полотенцем. Очень важно, чтобы как минимум один человек был на подстраховке. Не менее важно, чтобы у этого человека были достаточно крепкие нервы (без всякой иронии).

Во втором варианте эксперимента при горении образуется заметно больше сажи и токсичных газов, чем в первом.



Эксперимент № 1



Горение смеси тетрахлорметана и циклогексана (3 : 2)

фото В.Н. Витер





























Эксперимент № 2

























Эксперимент № 3













Заключение

Приведенный способ проведения экспериментов с «холодным» пламенем далеко не единственный. Например, в журнале уже был описан эксперимент по горению на ладони пены, заполненной пропан-бутановой смесью³. Для аналогичных целей также используют нитрированную вату.

Мы взяли циклогексан, поскольку под рукой не оказалось другого горючего легкокипящего углеводорода. С таким же успехом можно было бы использовать гексан, бензин, и, видимо, петролейный эфир. Обратите внимания, что указанные в статье соотношения тетрахлорметана и циклогексана не являются абсолютными. На горение смеси может влиять много факторов: температура в лаборатории, скорость движения воздуха, чистота реактивов и т.д. Всего заранее предвидеть невозможно. Для иллюстрации приведем цитату из книги Ричард Ф. Фейнман *Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!*

«Обычно мы устраивали волшебные представления - химические чудеса - для ребят из квартала. Мой друг был в этом силен, и мне это тоже нравилось. Мы проделывали на маленьком столе разные трюки с зажженными Бунзеновскими горелками, стоявшими на столе напротив друг друга. На горелках - стеклышки от часов (плоские стеклянные диски), на них капельки йода, из которого получался прекрасный пурпурный пар, поднимавшийся с обоих концов стола во время всего представления. Это было великолепно! Мы делали множество трюков, например, превращение "вина" в воду и другие химические опыты с изменением цвета. Под занавес мы проделывали один трюк, используя эффект, который сами обнаружили. Я незаметно опускал руки сначала в раковину с водой, а затем в бензин. Потом, как бы случайно, я касался одной из Бунзеновских горелок, и рука загоралась. Я хлопал в ладоши, и обе руки вспыхивали (это безвредно, поскольку бензин сгорает быстро, а рука благодаря воде остается холодной). Тогда я, размахивая руками, бегал вокруг и вопил: "ПОЖАР, ПОЖАР!" - и зрители приходили в сильное возбуждение. Они выбегали из комнаты, и на этом представление кончалось.

Позднее я рассказал эту историю в колледже моим братьям по студенческому объединению, и они сказали: "Чепуха! Ты не мог этого сделать!"

(Я часто сталкивался с такой же сложностью: как продемонстрировать людям что-нибудь такое, во что они не верят. Например, однажды разгорелся спор, вытекает ли моча просто под действием силы тяжести, и я вынужден был продемонстрировать, что это не так, показав, что можно помочиться стоя на голове. Или был другой случай,

³ Эксперименты с пропан-бутановой смесью. Химия и Химики № 2 (2010) с. 108
http://chemistry-chemists.com/N2_2010/108-154.pdf

когда кто-то утверждал, что если принять аспирин и кока-колу, то немедленно упадешь в смертельной слабости. Я сказал им, что это чистейший вздор, и предложил выпить аспирин и кока-колу вместе. Затем они затеяли спор, нужно ли пить аспирин перед кока-колой, сразу после или вместе. Тогда я выпил 6 таблеток аспирина и три стакана кока-колы, один за другим. Сначала я принял две таблетки аспирина и запил стаканом кока-колы, потом мы растворили две таблетки в стакане, и я выпил и это, и, наконец, я выпил еще стакан кока-колы и две таблетки аспирина. И каждый раз эти верящие идиоты стояли вокруг меня в ожидании, чтобы подхватить, когда я начну падать. Но ничего не случилось. Я, правда, помню, что плохо спал той ночью, но утром я нормально поднялся, сделал много рисунков и работал над какими-то формулами, относящимися к тому, что называется дзета-функцией Римана).

- Хорошо, ребята, - сказал я. - Пойдем и достанем немного бензина.

Они легко нашли бензин, я сунул руки в воду в раковине, затем в бензин и поджег его... Это было чертовски больно. Дело в том, что за это время на внешней стороне рук у меня отросли волосы. Они действовали как фитили и удерживали горящий бензин на месте, а когда я делал свой фокус раньше, волос на руках не было. После того как я проделал этот эксперимент для моих студенческих товарищей, волосы на руках навсегда исчезли.»

Единственное, не повторяйте этот «опыт» с чистым бензином. Даже если вы сразу же сильно не обожжетесь, второй раз делать такое точно не захочется.

