

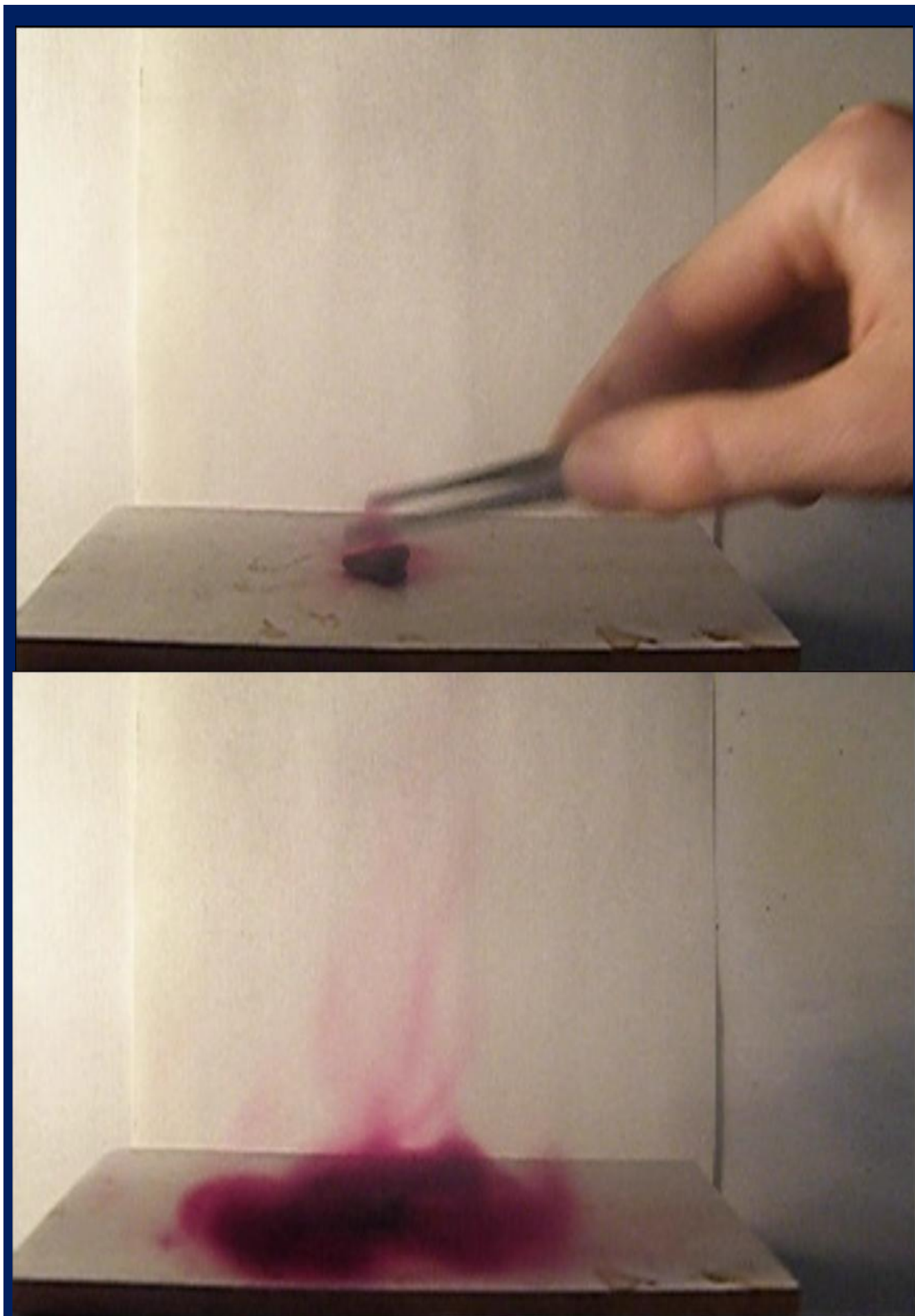
Плавится ли иод в открытом сосуде?

В.Н. Витер

В любом учебнике написано, что при обычных условиях иод не плавится. Если нагревать кристаллы иода в открытом сосуде, они сразу превратятся в фиолетовый пар – не образуя жидкости. Другими словами, при нагревании иод испаряется без промежуточного плавления – сублимируется (возгоняется).

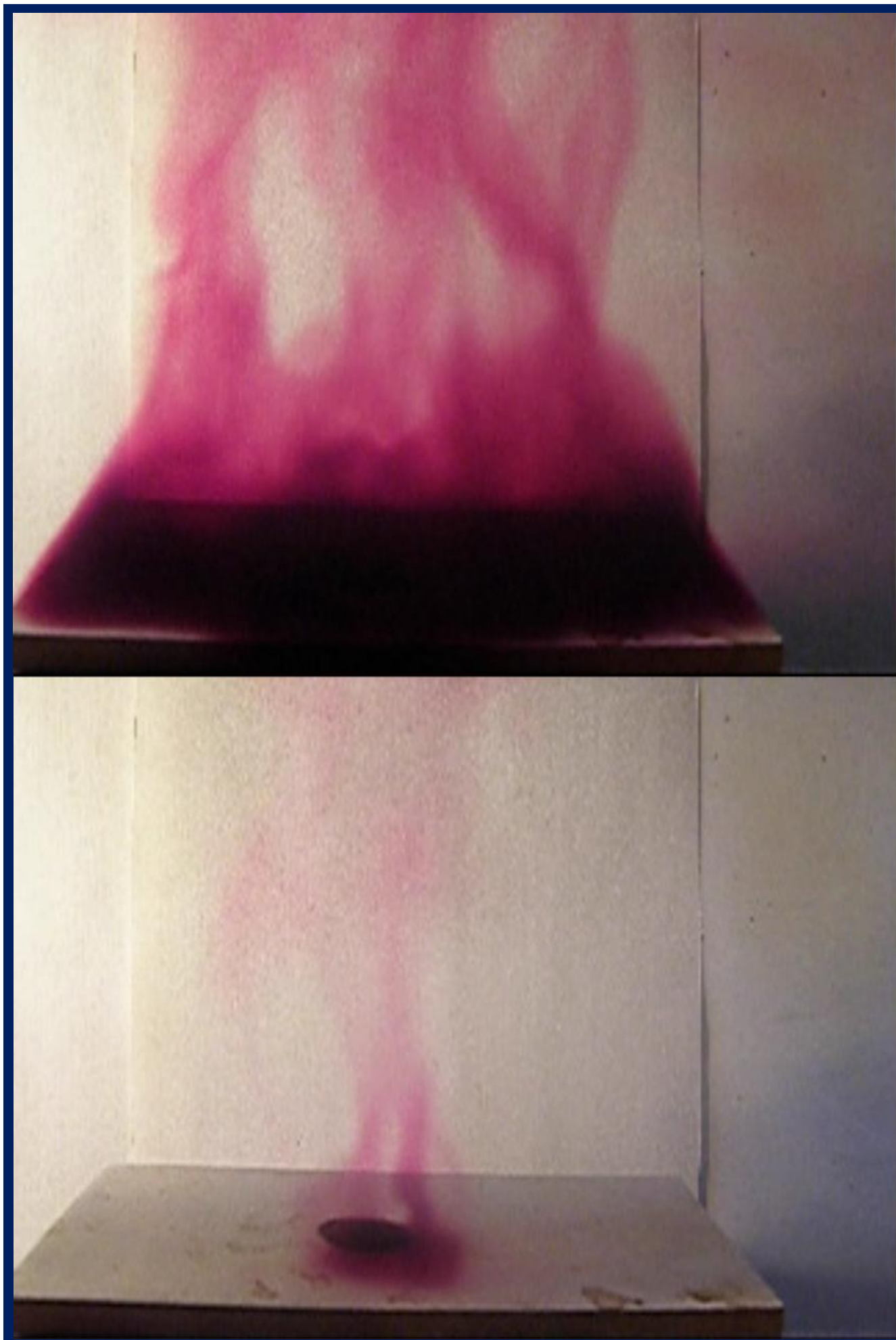
Процесс возгонки иода часто используют для его отчистки. На дно стакана кладут сырой иод, накрывают стакан круглодонной колбой, в которую залита вода, и аккуратно нагревают стакан на песочной бане. Иод сублимируется и оседает на холодной внешней поверхности колбы. Большинство примесей остается на дне стакана. (Подробнее про отчистку иода сублимацией рассказано в одной из следующих статей).



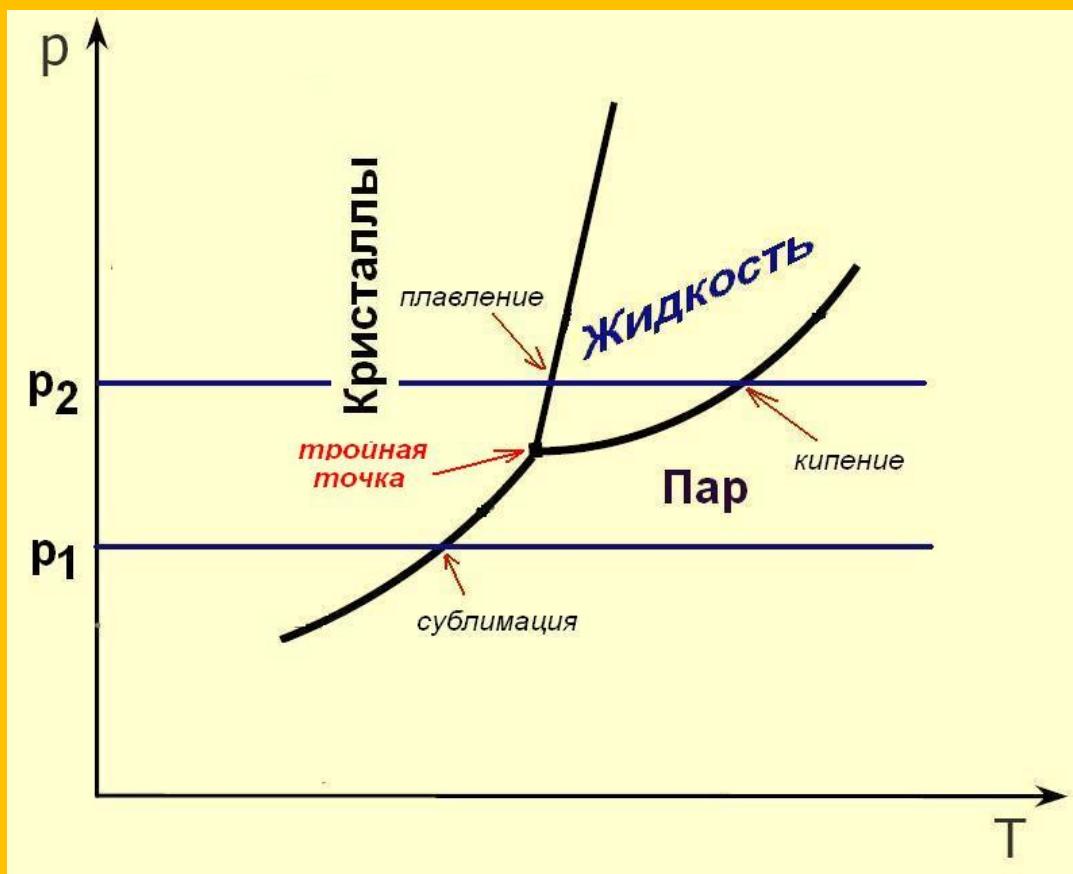


Сублимация иода на горячей кофельной плитке

фото В.Н. Витер



Сублимацию иода можно объяснить тем, что при обычных условиях иод не образует жидкой фазы. В этом легко убедиться, если посмотреть на фазовую диаграмму иода (рисунок). Изобара¹, для давления $p = p_1$ пересекает только два поля – твердой фазы и пара. Другими словами, при этом давлении иод может существовать только в двух состояниях – твердом и газообразном. Единственный возможный фазовый переход – твердое тело - газ. Если нагревать иод при давлении p_1 , он сублимируется. Чтобы образовалась жидкость, необходимо повысить давление паров иода. Для этого кристаллы иода нагревают в закрытом сосуде.



Фазовая диаграмма состояния иода. Изобара $p = p_1$ не пересекает поля жидкости. Чтобы наблюдалось плавление иода, нужно повысить давление паров (например, до p_2), тогда изобара будет пересекать поля всех трех фаз.

Проведем эксперимент. В пробирку положите кусочек иода размером с фасоль. Плотнo закройте пробирку резиновой пробкой и закрепите ее в держателе, сделанном из проволоки. Теперь сильным пламенем нагрейте верхнюю и среднюю часть пробирки – это необходимо, чтобы сверху пробирки не оседали кристаллы иода. Теперь осторожно нагрейте кусочек иода. Иод постепенно расплавится, на дне пробирки образуется темная жидкость. Пары иода не могут улетучиться из закрытой пробирки, их давление растет. В результате температура твердого иода достигает точки

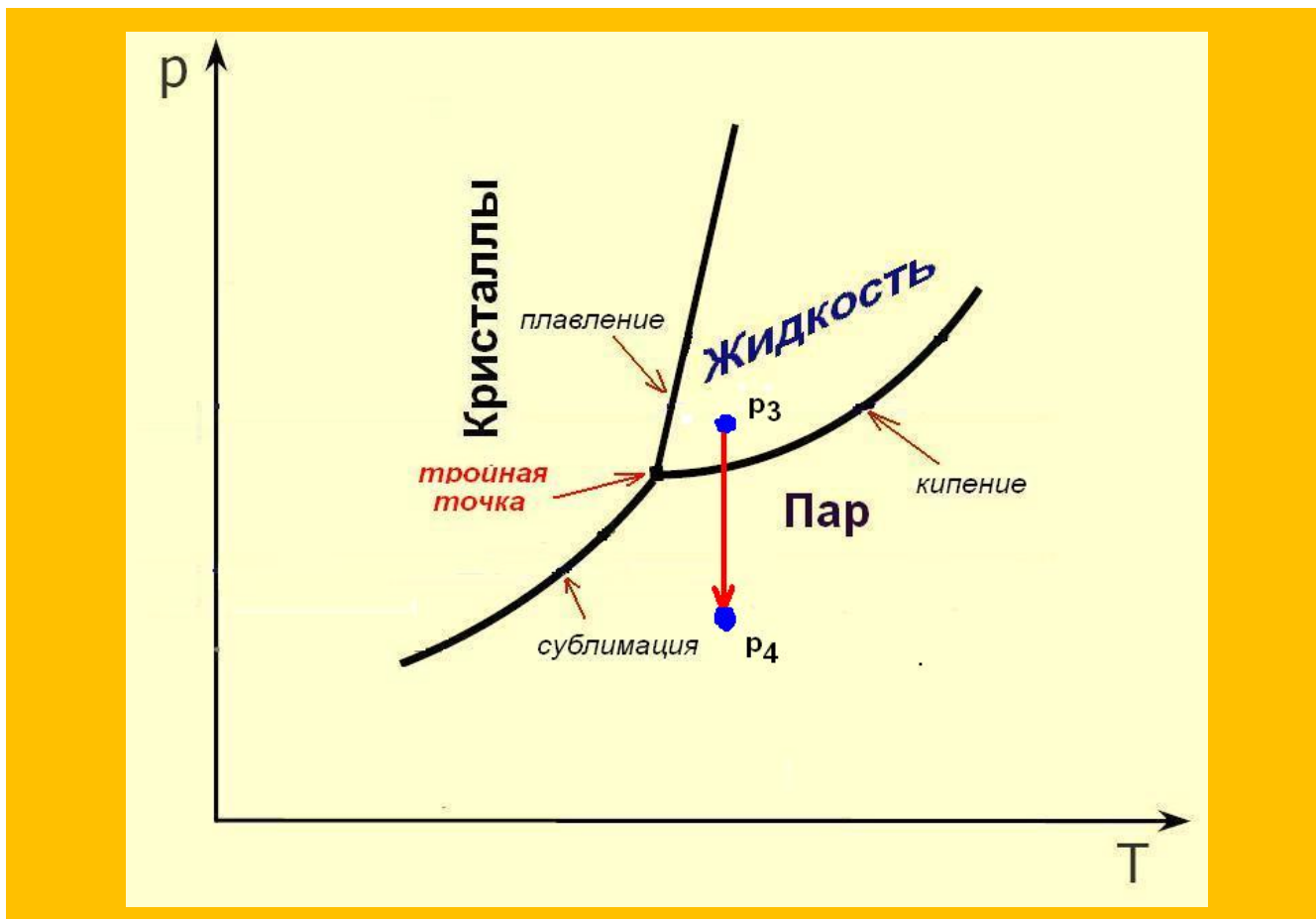
¹ Изобара – линия, которая соответствует процессам при постоянном давлении (на диаграммах состояния и т.п.)

плавления до того, как кристаллы сублимируются. Не грейте иод слишком сильно – не стоит доводить до образования густых фиолетовых паров (иначе в пробирке будет большое избыточное давление).

Внимание – вопрос: что будет, если сейчас открыть пробирку?

Пары иода смогут свободно улетучиваться, давление упадет (например, от p_3 до p_4 – см. рисунок), точка на диаграмме состояния сместится из поля жидкости в область пара. Жидкий иод больше не имеет права существовать.

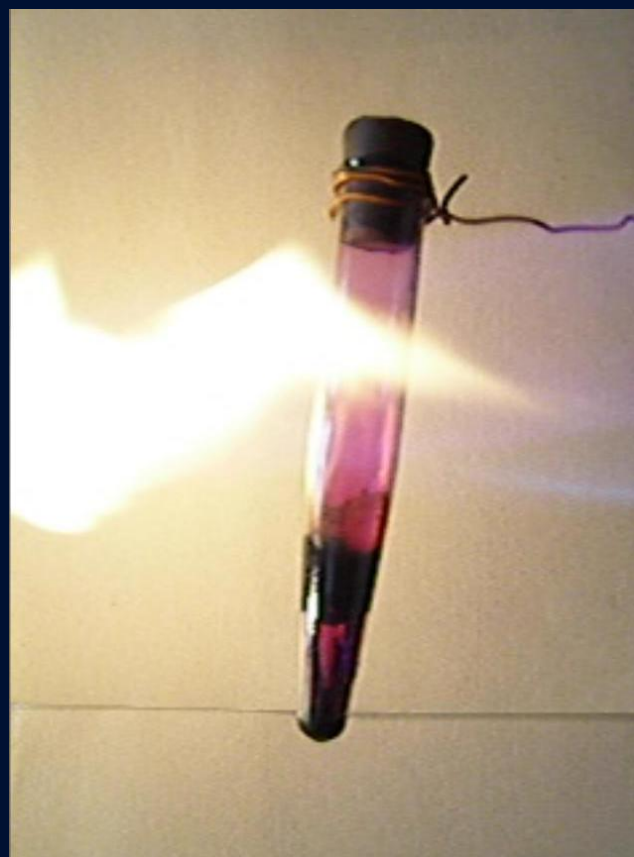
Наш прогноз: если открыть пробирку, иод моментально испарится.



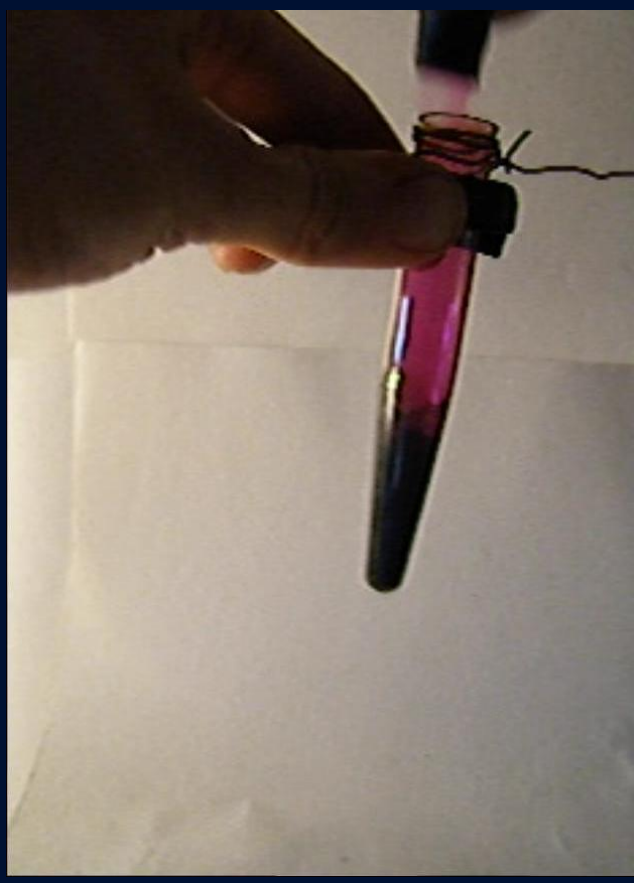
Осторожно откроем пробирку. Ничего особенного не произойдет. А теперь быстро переверните пробирку и вылейте жидкость на лист бумаги. Значительная часть иода выльется и застынет на листе, правда, много жидкости при переливании испарится.

Таким образом, жидкий иод можно наблюдать и в открытом сосуде при обычном давлении. В нашем эксперименте иод просто не успевает испариться. Термодинамическая диаграмма описывает систему в состоянии равновесия, но равновесие далеко не всегда устанавливается моментально. Иногда для этого нужны доли секунды, иногда – миллионы лет.

Читатель может сказать: это не честно, ведь сам процесс плавления проходил в закрытой пробирке.



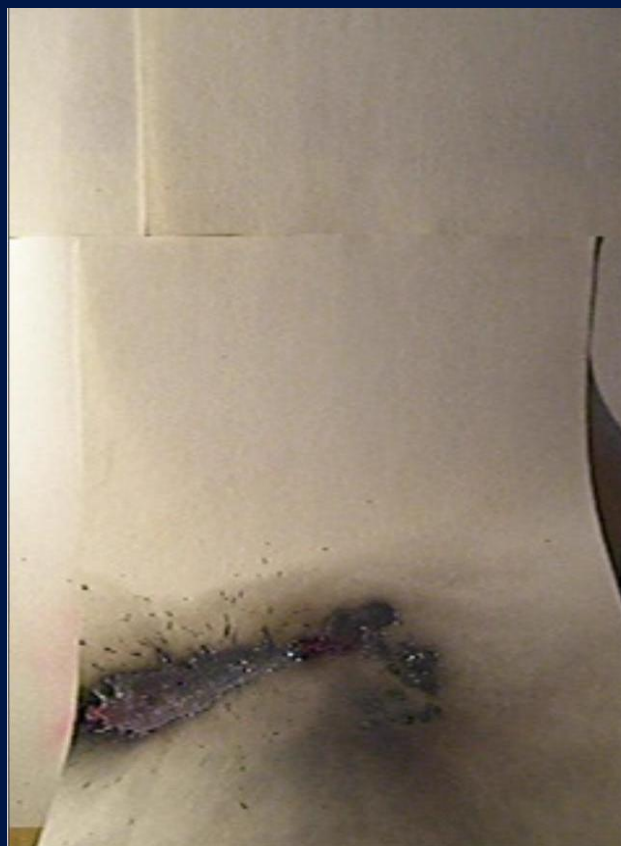
Нагреем иод в закрытой пробирке, пока он не расплавится



Осторожно откроем пробирку



Выльем иод из пробирки



Повторим эксперимент еще раз...

фото В.Н. Витер

Проведем другой эксперимент.

В пробирку снова положите кусочек иода, размером с фасоль, закройте пробирку. Нагрейте сперва верхнюю и среднюю часть пробирки, потом – осторожно расплавьте иод. После того, как кусочек полностью расплавится, прекратите нагрев, и дайте иоду застыть (это нужно, чтобы иод пристал к стенкам). После охлаждения откройте пробирку и закрепите ее с помощью проволоки в перевернутом положении (дном в низ). Снизу под пробирку подставьте выпарную чашку.

Теперь сильным пламенем горелки быстро нагрейте верхнюю часть пробирки. Иод расплавится, и фиолетовая жидкость будет капать из открытой пробирки. От капель будет исходить фиолетовый пар. В выпарной чашке расплавленный иод застынет.

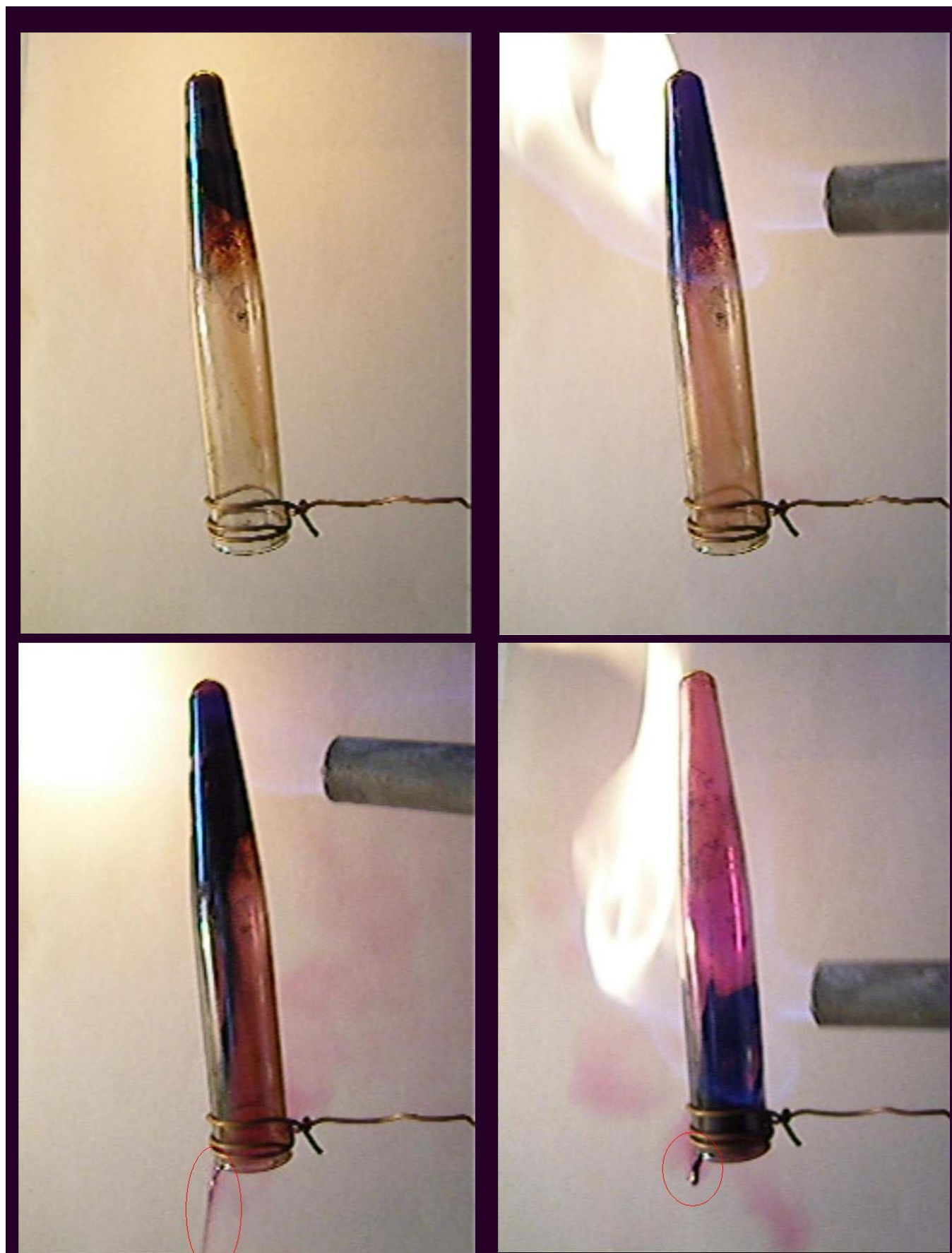
Таким образом, при быстром нагреве иод плавится даже в открытом сосуде. Это происходит потому, что кристаллы иода просто не успевают сублимироваться. Главное чтобы нагрев был достаточно быстрым, а иода не было слишком мало. Иногда даже удавалось наблюдать плавление кусочков иода, помещенных на сильно нагретую кафельную плитку.

В описанных экспериментах жидкий иод находится в метастабильном состоянии – перегретой жидкости. В равновесных условиях она должен испариться, но равновесие не успевает установиться. Подобным образом могут вести себя многие вещества. Например, в специально созданных условиях удастся охладить чистую воду значительно ниже 0 °С, и нагреть выше 100 °С. При очень быстром охлаждении расплавленные металлы переходят в стекло, не успев образовать кристаллическую решетку. Любое стекло, по сути, представляет собой переохлажденную жидкость.

Классическая термодинамика изучает равновесные системы, поэтому такие примеры часто обходят молчанием авторы учебников, но неравновесные системы имеют огромное значение. Достаточно вспомнить, что сама жизнь с точки зрения классической термодинамики - метастабильная система.

Техника безопасности. Все эксперименты следует проводить под вытяжкой. Пары иода токсичны. Пробирка, в которой вы нагреваете иод, должна быть прочной и плотно закрываться. Если из пробирки выбьет пробку или пробирка треснет, это грозит выбросом горячих брызг иода и большого количества его пара. Во многих книгах рекомендуют использовать пробку с тонким капилляром, но это лишнее. Держите пробирку так, чтобы ее отверстие было направлено в сторону от вас

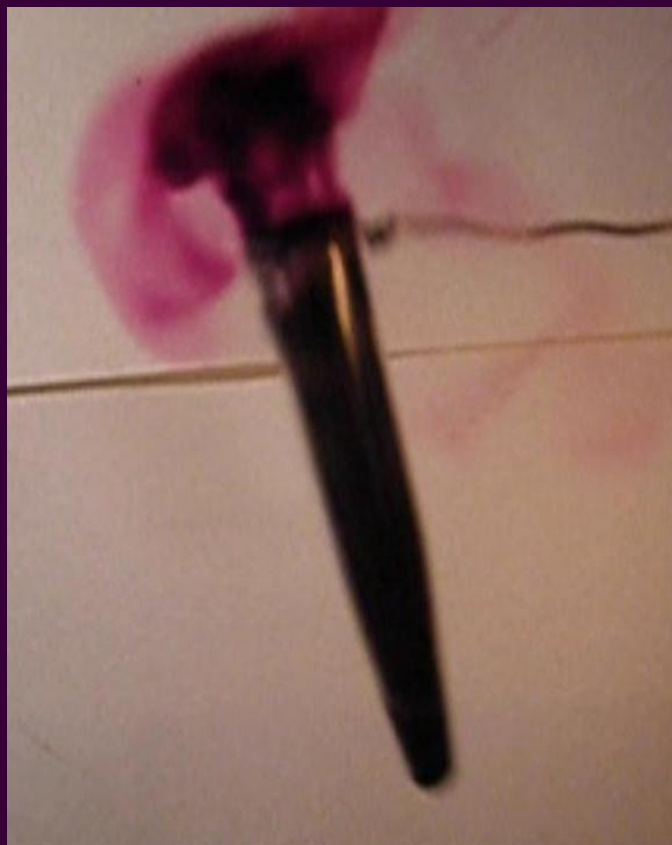
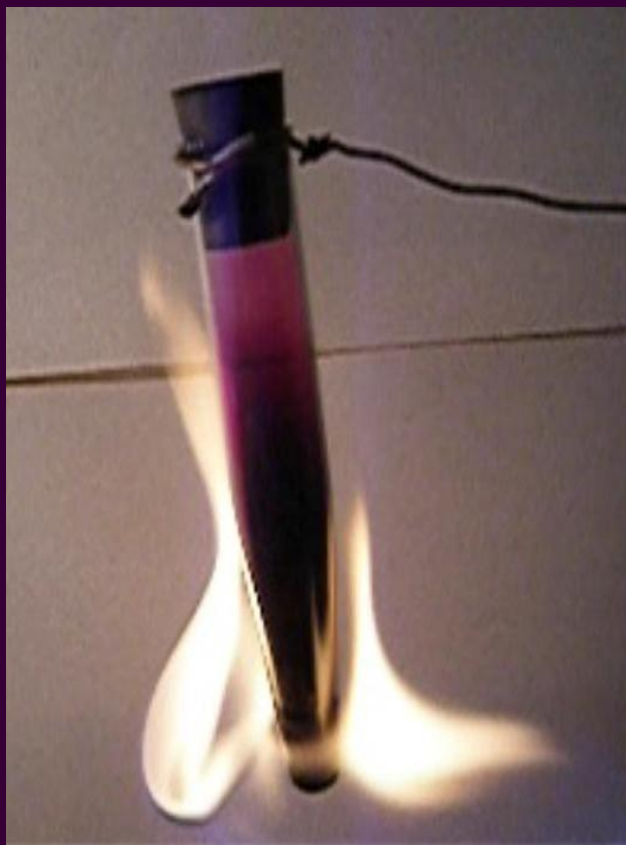




Плавление иода в открытой пробирке. При быстром нагреве кристаллы иода плавятся, не успевая сублимироваться

фото В.Н. Витер

и окружающих. Опыт проводят в защитных очках или маске из оргстекла (**берегите глаза** – они вам еще пригодятся для других экспериментов!). Как уже отмечалось, не стоит перегревать иод в закрытой пробирке – иначе, когда вы откроете пробку, произойдет резкое расширение газа и полетят брызги. Помните, что расплавленный иод – жидкость не только интересная, но и горячая. Во время проведения экспериментов автор умудрился дважды обжечься жидким иодом.



При слишком сильном нагревании закрытой пробирки с иодом, из нее может выбить пробку. Избегайте перегрева

фото В.Н. Витер