

**И. Ф. Богданов**

# **Высокие давления в химии**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 54  
ББК 24  
И11

И11 **И. Ф. Богданов**  
Высокие давления в химии / И. Ф. Богданов – М.: Книга по Требованию, 2014. – 58 с.

**ISBN 978-5-458-64006-0**

Применение высоких давлений в химии — вот основная тема книги. Для разъяснения этого дано краткое описание главных вопросов, которыми занимается химия, указаны причины, заставившие химиков воспользоваться в своей работе высокими давлениями. Далее перечислены случаи, когда высокие давления являются полезными в химической практике. Весь этот материал изложен в первой вводной главе. Вторая глава, описывающая практическое значение высоких давлений, посвящена важнейшему производству — искусственному получению аммиака из газов азота и водорода. Это производство важно в том отношении, что оно явилось первым опытом применения высоких давлений в химической промышленности. Далее оно дает возможность готовить искусственные азотные удобрения. Приготовление таких удобрений позволило во много раз увеличить урожайность полей. Наконец, производство аммиака имеет и оборонное значение. В следующих главах описываются примеры других химических превращений под давлением, также уже нашедших применение в промышленности.

**ISBN 978-5-458-64006-0**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



## ГЛАВА I

# ЗНАЧЕНИЕ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ В ХИМИИ

### Сперва о химии

Значение и применение высоких давлений в химии — вот вопрос, которому посвящена эта книга. Но прежде, чем перейти к нему, необходимо кратко выяснить более общие вопросы: что такое химия, какие задачи стоят перед этой наукой и какими путями она их разрешает. Только в такой связи и будет понятна роль высоких давлений. Поэтому сперва поговорим о химии.

Химия — это наука о составе, свойствах, превращениях, получении и применении различных веществ, с которыми человеку приходится сталкиваться в своей практической деятельности. Уже такое краткое определение показывает всю обширность и сложность задач, стоящих перед химией. Действительно, окинув взглядом окружающую нас природу, мы сразу можем перечислить громадное количество самых разнообразных веществ, имеющих в ней. Почва содержит глину, песок, разные соли и другие вещества. Реки и моря наполнены водой. Наши легкие дышат воздухом, поглощая при этом кислород и выдыхая углекислый газ. Растения дают нам смолы, масла, сахар и пр., животные — жиры, шерсть, молоко и пр. Из недр земли мы добываем уголь, нефть, руды, поваренную соль, апатиты, калийные соли и пр. А сколько самых разнообразных веществ дает промышленность!

Изучение состава громадного количества имеющихся в природе веществ является одной из важнейших и трудных задач химии. В результате многовековой работы в этом направлении теперь нам известно, что все природные вещества и продукты промышленного производства можно разделить на два класса — на простые вещества и на сложные. Простых веществ известно лишь небольшое количество, в то время как число сложных чрезвычайно велико.

Два или несколько простых веществ, химически соединяясь друг с другом, делаются составными частями, или элементами, а из сложного вещества. Применяя те или иные способы, сложные вещества можно разложить обратно на составляющие их химические элементы, которые в свободном состоянии образуют простые вещества. Простые же вещества уже никаким способом

разложить нельзя. Так, например, из железной руды путем соответствующей обработки получают чугуны, а затем и чистое железо. Однако сколько бы мы ни старались получить из железа какой-либо другой металл, скажем, медь, наши попытки останутся безуспешными. Таким образом, можно убедиться на опыте, что железо представляет собой простое вещество и ни на какие другие простые вещества разложено быть не может.

Возьмем другой пример. В жизни природы большую роль играет вода. Представляет ли она с точки зрения химика простое вещество или сложное? Оказывается, что если через воду пропустить электрический ток, то она разлагается с образованием двух газообразных веществ — водорода и кислорода. Следовательно, воду нельзя отнести к простым веществам: это сложное вещество, образованное соединением двух элементов — водорода и кислорода. Газы водород и кислород, металлы железо, медь и др., а также такие вещества, как сера, фосфор, иод, могут служить примерами простых веществ, а углекислый газ, вода, мел, сахар, спирт, руды металлов и т. п. — все это сложные вещества.

Изучение состава отдельных веществ производится, конечно, не ради простого любопытства. Когда известно, что представляет собою данное вещество, из чего оно состоит, то можно уже гораздо лучше использовать его для нужд человека. Например, поваренная соль многие тысячелетия применялась почти исключительно как пищевой продукт, а сейчас из нее, кроме того, получают соляную кислоту, едкую щелочь, хлор, соду и пр. Открытые недавно на Кольском полуострове залежи апатитов могли найти применение в качестве фосфорных удобрений лишь после того, как был определен их состав. Весьма возможно, что местные жители давно знали о наличии этих залежей, но им и в голову не приходило, что это ценные удобрения.

Часто изучения состава вещества еще недостаточно для его характеристики. Бывают случаи, когда сильно различающиеся между собою вещества имеют один и тот же качественный и количественный состав. Следовательно, различие между ними могло возникнуть только в результате разницы во внутреннем строении. Частицы одних и тех же химических элементов при образовании частиц сложных веществ могут связываться между собою не одинаковым способом. Как из одних и тех же кирпичей можно построить самые разнообразные здания, так из одних и тех же химических элементов могут получиться различные сложные вещества. Таким образом, наряду с изучением состава сложных веществ необходимо изучение и их свойств. Если окажется, что качественный и количественный состав двух веществ одинаков, но свойства их различны, то тогда возникает необходимость в определении строения этих веществ.

Этим не ограничиваются задачи химии. Изучив состав и свойства природных веществ, химики смогли создать громадное количество новых веществ, которых в природе не существует вовсе. Искусственные удобрения, разнообразные красители, лекарствен-

ные вещества, взрывчатые и отравляющие вещества и т. д. — все это продукты, созданные химической промышленностью. Трудно даже представить себе, как ограничена была бы жизнь человека, если бы он пользовался исключительно природными продуктами.

### Как работает химик

Выясним теперь, какими путями достигают химики тех или иных результатов в своей работе.

Основной способ изучения вещества — это проведение с ним различных химических превращений, или, как говорят химики, р е а к ц и й. Пусть, например, дано какое-либо сложное вещество и требуется определить его состав. Ясно, что прежде всего нужно попытаться разложить данное вещество на более простые или, иначе говоря, подвергнуть химической реакции р а з л о ж е н и я. Например, вода разлагается действием на нее постоянного электрического тока, т. е. путем электролиза.

Полученные простые вещества или промежуточные продукты разложения подвергаются дополнительному исследованию. Определяются их различные свойства, способность вступать в те или иные реакции.

Наконец, для проверки результатов необходимо попытаться вновь соединить между собою получившиеся простые вещества, т. е. провести с ними реакцию с о е д и н е н и я и выяснить, получается ли при их взаимодействии исходное сложное вещество или нет. Так, образующиеся при разложении воды газы водород и кислород сами дальше уже не разлагаются, т. е. являются простыми веществами. При их химическом взаимодействии получается снова вода. В результате мы можем твердо сказать, что вода является сложным веществом и представляет собой соединение двух химических элементов — водорода и кислорода.

Следовательно, химические реакции разложения и соединения являются очень важным способом изучения состава и свойств вещества. По этому же пути идет химик и при создании новых веществ. Получение сложного вещества из более простых часто называют с и н т е з о м.

### Как вызвать химическую реакцию

Таким образом, практическая деятельность химика, на основании которой можно делать те или иные выводы, заключается в проведении различных р е а к ц и й, т. е. в изучении химического взаимодействия между различными веществами. Поскольку химические реакции являются таким ценным орудием в руках химика, то весьма важно выяснить, как они возникают, в каких условиях протекают, наконец, идут ли они в природе без участия человека.

Действительно, многие реакции в природе происходят сами по себе, но обычно крайне медленно. Часто нужен очень большой

промежуток времени, чтобы можно было наблюдать ощутимый результат многих превращений, имеющих место в природе. Лишь немногие реакции, как, например, реакции медленного окисления (т. е. соединения с кислородом) различных продуктов растительного и животного происхождения, протекают с заметной скоростью; примером таких реакций могут служить самовозгорание угля, разогревание сырого сена при хранении, гниение различных веществ.

Однако даже и такие скорости химических реакций являются слишком малыми и не имеют практического значения для промышленного использования. Для химических исследований в лаборатории, а особенно для промышленности, необходимо, чтобы реакция протекала быстро. Больше того, самопроизвольно реакции происходят лишь в редких случаях, в большинстве же случаев вещества относятся друг к другу вполне безразлично, или индифферентно и, будучи смешаны между собою, не вступают во взаимодействие. Например, водород и кислород, получаемые при разложении воды, в смеси друг с другом могут стоять при обычных температурах сотни лет без всякого видимого изменения. Реакция соединения между ними практически происходить не будет. В то же время при внесении в эту смесь зажженной лучинки или при пропускании электрической искры реакция соединения проходит весьма энергично, даже со взрывом.

Следовательно, перед химиками стоит задача ускорить медленные реакции и вызвать реакцию между веществами, которые при обыкновенных условиях относятся друг к другу инертно, т. е. не вступают во взаимодействие.

Способы проведения отдельных реакций весьма разнообразны, и мы не можем их все разобрать в нашей книжке. Здесь будут указаны лишь главнейшие приемы, общие для большинства реакций.

На скорость химической реакции наибольшее влияние оказывает **н а г р е в а н и е** реагирующих веществ. Приблизительно считается, что повышение температуры на каждые  $10^{\circ}$  увеличивает скорость реакции вдвое. Нагревание позволяет вызвать реакции между веществами, которые при низких температурах не реагируют. Многие вещества при нагревании начинают разлагаться. Так, например, сахар, жиры распадаются при нагревании до  $200\text{--}300^{\circ}$ . Даже такой прочный материал, как известняк, разлагается при  $800^{\circ}$  с образованием углекислого газа и негашеной извести.

Влияние нагревания на химические реакции было известно химикам с очень давнего времени, и обычно оно широко применяется в химической практике. Однако нагревание не является универсальным средством, позволяющим осуществить любое химическое превращение. Есть случаи, которые будут описаны в дальнейшем, когда повышение температуры до любого предела не дает возможности провести нужную реакцию. Вот в таких случаях и возникла необходимость применения высоких давлений.



## Что такое давление

Прежде чем перейти к изложению вопроса о применении высоких давлений в химии, разберем, что следует понимать под словом «давление» и о каких давлениях здесь идет речь.

Представим себе, что на какую-либо поверхность положен тяжелый груз, который будет давить на нее. Зная вес груза и величину поверхности, мы можем рассчитать, какое давление оказывает груз на единицу поверхности, например, на 1 кв. см.

Возьмем другой пример. Пусть какое-либо тело помещено под гидравлический пресс и подвергнуто сжатию. Давление, оказываемое на тело, может быть в этом случае очень большим. Обычно такое гидравлическое давление выражается в килограммах на квадратный сантиметр поверхности. Если говорят о давлении в 100 кг на 1 кв. см, то это означает, что на каждый квадратный сантиметр поверхности производится давление в 100 кг.

Наконец, вспомним описываемый в учебниках по физике рассказ о так называемых «магдебургских полушариях». Еще в XVII столетии в одном немецком городе был публично показан такой опыт. Был взят полый медный шар, состоящий из двух гладко пришлифованных половин. Эти половинки легко отнимались одна от другой. Затем из шара был выкачан воздух, и после этого никто из жителей не мог оторвать одну половину шара от другой. Только шестнадцать лошадей смогли разнять полушария.

Спрашивается, почему с таким трудом удалось разъединить полушария? Ответ на этот вопрос, конечно, очень прост. Воздух, представляющий в основном смесь двух газов — кислорода и азота, состоит из мельчайших частиц, или иначе, молекул этих газов, очень быстро движущихся в различных направлениях. Из мельчайших частиц-молекул состоит каждое вещество, независимо от того, твердое оно, жидкое или газообразное. Только в твердых телах и жидкостях между молекулами существуют силы сцепления, ограничивающие движение частиц. В газообразных же телах силы сцепления между молекулами отсутствуют, а потому молекулы газа могут двигаться по какому угодно направлению. Ясно, что молекулы газов, входящие в состав воздуха, также движутся по всем направлениям.

Теперь представим себе, что на пути движения этих молекул находится какая-либо поверхность, например, поверхность медного шара. Движущиеся молекулы будут сталкиваться с поверхностью, ударять в нее, причем, поскольку молекул очень много, эта поверхность будет испытывать в каждый момент времени очень большое число ударов. Насколько велико число молекул и, следовательно, велик «град ударов», видно из следующих цифр. Пусть мы имеем сосуд емкостью в 1 л, наполненный кислородом, и допустим, что из этого сосуда вылетает каждую секунду 1 миллион молекул кислорода. Оказывается, нужно около 10 миллионов лет, чтобы из сосуда вылетели все молекулы. Так велико, следовательно, количество молекул кислорода в 1 л этого газа!

Хотя величина молекул ничтожна, но благодаря большому числу их всякая поверхность, соприкасающаяся с газом, например с воздухом, испытывает некоторое давление, вызываемое ударами молекул. Обычно мы этого давления не замечаем. Больше того, когда в описанном опыте из шара не был выкачан воздух, то стенки шара вообще не испытывали никакого одностороннего давления, так как удары молекул газа снаружи уравновешивались ударами молекул изнутри шара. Однако, когда из шара был выкачан воздух, то свидетели опыта могли воочию наблюдать величину давления атмосферного воздуха.

Таким образом, мы познакомились еще с одним видом давления — с газовым давлением. Оно обычно измеряется в так называемых атмосферах на 1 кв. см. Давление в 1 ат на 1 кв. см лишь немногим отличается от давления 1 кг на 1 кв. см, а именно 1 ат равна давлению в 1033 г на 1 кв. см. Соответственно, давление в 100 ат равно 103,3 кг на 1 кв. см. Давление атмосферного воздуха на земную поверхность обычно равно приблизительно 1 ат, однако понятно, что мы можем иметь воздух, а также и любой газ и под высоким давлением, т. е. в сильно сжатом состоянии. Мы будем подразумевать под высоким давлением всякое давление выше атмосферного. В практике высокими давлениями считаются давления выше 50—100 ат.

### **В каких случаях высокие давления применяются в химии**

Пользуясь специальными приборами, мы можем подвергнуть сдавливанию всякое твердое или жидкое тело, а также получить газ в сильно сжатом состоянии, т. е. под высоким давлением. Спрашивается, какое значение имеет для химика эта возможность применения давления?

Ясно, что высокое давление представляет для химика интерес лишь как вспомогательное средство при проведении химических реакций. Если, например, сильное сдавливание раствора двух реагирующих веществ благоприятствует их химическому взаимодействию, то оно является ценным для химика. Если реакция между сжатыми газами протекает лучше, чем с газами при атмосферном давлении, то химик не может пройти мимо этого способа ускорения химической реакции. Если же, наконец, высокие давления не влияют на химическую реакцию, то они мало интересны для химика.

Опыты большого числа исследователей показали, что сильное сдавливание твердых тел и жидкостей (или растворов) мало влияет на химические реакции, протекающие между различными жидкостями или растворами твердых веществ. В опытах применялись и очень высокие давления (до 10 000 кг на 1 кв. см), однако полезное влияние на химическое взаимодействие было все-таки небольшим и едва ли могло окупить расходы на сжатие.

Научная разработка вопроса о влиянии давления на химические реакции привела к выводам, вполне подтверждающим

результаты опытов со сжатыми жидкостями и растворами. Выяснялось, что высокое давление оказывает сильное влияние на химическую реакцию лишь в тех случаях, когда взаимодействие связано со значительным уменьшением объема реагирующих веществ. Однако происходит ли сильное уменьшение объема при сдавливании, сжатии твердых тел или жидкостей?

Совершенно очевидно, что нет. В твердых телах и жидкостях частицы и так тесно соприкасаются друг с другом. Поэтому сжатие жидкостей даже под давлением в 10 000 кг на 1 кв. см вызывает лишь незначительную передвигу частиц, что выражается в незначительном уменьшении объема. Так, например, объем воды при повышении давления до 1000 ат уменьшается лишь на 3%. Благодаря такому свойству жидкостей сдавливание их мало влияет на химические реакции в жидкой среде.

Однако на ряду с твердыми и жидкими телами большое количество веществ существует в газообразном состоянии. Воздух, представляющий в основном смесь двух газов — азота и кислорода, углекислый газ, угарный газ (или иначе окись углерода) — наиболее известные каждому газы. Кроме них существует еще много других газов. В газообразное или парообразное состояние можно перевести также большую часть жидких и многие твердые тела. Так, например, вода при нагревании до 100° закипает и начинает переходить в парообразное состояние. Насыщенный водяной пар при этой температуре занимает объем, во много раз превышающий объем воды, из которой образовался пар. Так, из 1 л воды получается до 1600 л пара. Поскольку число частиц (молекул) в образовавшемся паре остается тем же самым, легко заключить, что частицы газа или пара отстоят друг от друга на значительном расстоянии, и следовательно объем газа может сильно измениться при повышении давления. Благодаря этому высокие давления оказывают наибольшее влияние на химические превращения именно в реакциях с газообразными или парообразными веществами.

### **Зависимость между объемом газа и давлением**

Поскольку мы установили, что из реакций под высоким давлением наибольший интерес представляют химические превращения газов и паров, следует остановиться на вопросе о величинах сжимаемости газов.

Зависимость между давлением и объемом газа уже давно выяснена в науке. Согласно закону Бойля-Мариотта, объем любого газа обратно пропорционален давлению, производимому на газ. Иначе говоря, если мы увеличим давление в два раза, то объем газа соответственно уменьшится в два раза. Эта закономерность сохраняется у газов в довольно широких пределах. Лишь при очень высоких давлениях в 200—500 ат уменьшение объема начинает отставать от соответствующего увеличения давления, потому что частицы самого газа тоже занимают некоторое пространство.

Таким образом, объем газа весьма чувствителен к давлению на газ.

Объем газа не менее чувствителен и к изменению температуры. При нагревании объем газа увеличивается. Если же нагревание производится в закрытом сосуде, то соответственно возрастает давление.

Увеличение давления при сжатии газа объясняется тем, что то же самое число молекул заключается уже в меньшем объеме и, следовательно, число ударов молекул о стенки сосуда делается больше. Равным образом при нагревании газа скорость движения частиц возрастает, удары делаются более сильными и частыми, что и выражается в увеличении давления газа на стенки сосуда.

Величина прироста объема газа или давления его при повышении температуры определяется законом Гей-Люссака. Согласно этому закону, при нагревании любого газа объем его увеличивается при повышении температуры на  $1^\circ$  приблизительно на  $\frac{1}{273}$  часть первоначальной величины. Если же газ находится в закрытом сосуде и, следовательно, объем его не может увеличиться, то на ту же самую величину возрастает давление. Отсюда легко сделать заключение, что, например, нагревание газа от  $0$  до  $273^\circ$  будет сопровождаться увеличением объема или давления в два раза.

Закономерности, определяющие отношение между объемом газа и его давлением, до сих пор излагались нами применительно к газам. Однако известно, что жидкости при нагревании переходят в пар. Продолжая нагревать последний, мы можем получить так называемый перегретый пар. По своим свойствам он близок к обычным газам и, следовательно, подчиняется изложенным выше закономерностям. Наконец, переход жидкости в пар сопровождается сильным увеличением объема. Поэтому ценность высоких давлений не ограничивается только областью газовых реакций. На химические реакции с жидкостями или между жидкостью и газом, особенно при высоких температурах, высокие давления также оказывают значительное влияние, поскольку при высокой температуре может иметь место переход жидкости в пар, что сопровождается увеличением объема. В этих случаях, применяя высокие давления, мы можем влиять на состояние вещества, например препятствовать переходу жидкости в пар.

### Перегрев жидкости

Перейдем теперь к рассмотрению тех возможностей и преимуществ, которые дает химикам высокое давление.

Одна из первых задач, которую удастся решить благодаря применению высоких давлений, — это нагревание жидкости выше температуры ее кипения при атмосферном давлении. В химической практике часто встречаются случаи, когда реакция между двумя жидкостями или жидкостью и твердым телом идет только при температуре выше точки кипения жидкости. Представим себе

случай, когда взаимодействие между водою и каким-либо веществом начинается не при температуре кипения воды ( $100^{\circ}$ ), а только при  $200^{\circ}$ . Можем ли мы нагреть воду до этой температуры в открытом сосуде? — Ясно, что нет. Уже при температуре около  $100^{\circ}$  наш раствор начнет кипеть, и при дальнейшем нагревании будет лишь испаряться вода, но температура смеси не поднимется. Все тепло станет расходоваться только на испарение воды, а нужной нам температуры мы не достигнем.

Совсем другая картина наблюдается при нагревании того же раствора в закрытом сосуде, выдерживающем высокое давление. Уже раньше было указано, что переход жидкости в пар сопровождается сильным увеличением объема, например, для воды объем насыщенного пара при атмосферном давлении больше исходного объема воды почти в 1600 раз. При нагревании воды в закрытом сосуде часть ее сначала перейдет в пар. Однако свободное пространство для распространения пара невелико. Пар, находясь в этом пространстве, будет сжатым и, следовательно, станет оказывать давление на жидкость. Но если давление на жидкость будет выше атмосферного, то температура кипения жидкости начнет повышаться, а следовательно, затрачиваемая на нагревание жидкости теплота пойдет на дальнейшее нагревание жидкости. В результате давление пара будет возрастать все больше, а соответственно с этим жидкость станет нагреваться все выше и выше, так что мы можем, например, легко нагреть наш водный раствор до желаемой температуры в  $200^{\circ}$ .

Для наглядности можно привести несколько цифр, показывающих зависимость между температурой и давлением пара для воды (таблица 1).

Из этой таблицы видно, что уже при незначительном давлении пара, около 2 ат, температура воды поднимается до  $120^{\circ}$ ,

а нужная нам температура воды  $200^{\circ}$  легко может быть достигнута при давлении около 15 ат, иначе говоря, при нагревании воды в закрытом сосуде, способном выдержать давление пара в 15 ат.

Все сказанное справедливо не только для воды, но и для всякой другой жидкости. Следовательно, потребность в нагревании жидкости при реакции до температуры выше точки кипения этой жидкости под атмосферным давлением может быть легко осуществлена применением для реакции сосудов, выдерживающих

Таблица 1

Зависимость давления водяного пара от температуры

Температура в $^{\circ}\text{C}$	Давление в ат	Температура в $^{\circ}\text{C}$	Давление в ат
100	1.00	260	46.30
120	1.96	280	63.29
140	3.57	300	84.78
160	6.10	320	111.43
180	9.89	340	144.20
200	15.34	360	184.07
220	22.89	370	207.49
240	33.03	374	217.72

высокие давления. Это важно еще в том отношении, что упрощает сооружение промышленных установок, так как размеры их сокращаются во много раз.

Вернемся теперь к нагреванию воды в закрытом сосуде и выясним следующий вопрос: сможем ли мы нагреть воду в жидком состоянии до любой температуры или мы ограничены каким-либо пределом?

Прежде чем дать окончательный ответ на этот вопрос, рассмотрим рис. 1, на котором кривой линией изображено увеличение давления пара с повышением температуры по цифровым данным таблицы 1. Вначале давление пара возрастает медленно.

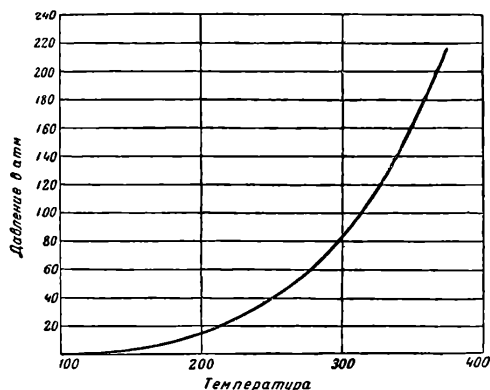


Рис. 1. Рост давления водяного пара в зависимости от повышения температуры.

После 200° рост давления идет быстрее, а выше 300° кривая резко поднимается вверх. Следовательно, чтобы удержать воду в жидком состоянии, мы должны применять все более и более высокие давления. При 370° оно должно быть около 210 ат. Если продолжать нагревание, то при температуре выше 374° вся жидкость перейдет в пар.

Повторим операцию снова, причем сделаем попытку воспрепятствовать

переходу всей жидкости в пар путем сжатия пара до высоких давлений с помощью компрессора. Оказывается, что при 374° все равно вся жидкость превратится в пар.

Таким образом, температура 374° в нашем примере является переломной. Ниже ее вода еще может находиться в жидком состоянии, а выше этой точки никаким давлением нельзя уже воспрепятствовать превращению всей жидкости в пар. Такая температурная точка, выше которой жидкость переходит целиком в пар независимо от величины внешнего давления, называется критической температурой. Критическая температура воды равна 374°. Всякая жидкость, как и вода, имеет свою определенную критическую температуру. Следовательно, критическая температура является тем пределом, до которого можно перегреть жидкость под давлением.

### Сжижение газов

Высокие давления позволяют также решить задачу, обратную только что изложенной. Пусть у нас имеется перегретый водяной пар при температуре 300°. Начнем его сжимать. Объем пара будет