

В.), либо вследствие развития в среде разветвлённой цепной реакции (цепной В.).

Тепловой В. осуществляется в условиях, когда термич. равновесие между реагирующим веществом и окружающей средой оказывается невозможным. При достаточно больших значениях энергии активации \mathcal{E} (истинной или эффективной) скорость хим. реакции w быстро возрастает с увеличением темп-ры T — по закону Аррениуса $w \sim z \exp(-\mathcal{E}/RT)$, R — универсальная газовая постоянная, z — предэкспоненциальный множитель (см. *Кинетика химическая*). Т. о. растёт и скорость тепловыделения Q_+ в объёме вещества V :

$$Q_+ \sim Vqz \exp(-\mathcal{E}/RT)$$

(q — тепловой эффект реакции). Теплоотвод во внеш. среду Q_- — через поверхность S зависит от темп-ры гораздо слабее:

$$Q_- \sim \frac{\lambda}{r} (T - T_0) S$$

(λ — коэф. теплопроводности, r — линейный размер тела, T_0 — темп-ра среды). Условие теплового равновесия соответствует равенство $Q_+ = Q_-$ — выделяющееся в ходе реакции тепло полностью отводится через поверхность ВВ. Вследствие сильной нелинейности ф-ции тепловыделения $Q_+(T)$ такое равновесие не всегда возможно, что хорошо видно на диаграмме Семёнова (рис. 1). При низких темп-рах T_0^1 кривая $Q_+(T)$ и прямая 1, изображающая зависимость $Q_-(T)$ при $T_0 = T_0^1$, имеют точку пересечения, т. е. возможно термич. равновесие, — реакция протекает медленно при темп-ре, мало отличающейся от T_0 . При повышении T_0 прямые теплоотвода (2 и 3) смещаются вправо, и при нек-рой

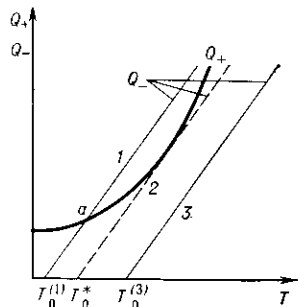


Рис. 1. Диаграмма Семёнова. 1 — подкритическое, 2 — критическое, 3 — надкритическое состояние системы.

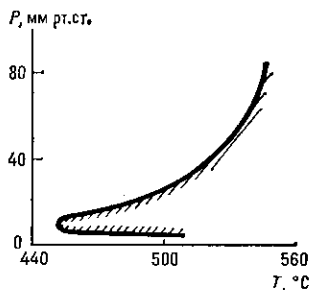


Рис. 2. Область самовоспламенения (затрихована) смеси водорода с кислородом (в пропорциях 2 : 1).

критич. темп-ре T_0^* прямая 2 касается кривой $Q_+(T)$; при $T_0 > T_0^*$ точка пересечения (а следовательно, и возможность термич. равновесия) исчезает, хим. экзотермич. реакция самоускоряется — выделение тепла приводит к повышению темп-ры, что в свою очередь увеличивает скорость тепловыделения: возникает тепловой В.

Условия возникновения теплового В. определяются неравенством $\delta > \delta^*$, где δ — безразмерный параметр, зависящий от величин, характеризующих хим. реакцию, теплоотвод и размеры тела (r):

$$\delta = \frac{\mathcal{E}}{RT_0^2} \frac{q}{\lambda} r^2 z \exp(-\mathcal{E}/RT_0)$$

а δ^* — число порядка единицы, определяемое формой тела (напр., для шара $\delta^* = 3,32$). Тепловой В. тем характернее, чем лучше выполняются неравенства: $RT_0/\mathcal{E} \ll 1$ и $cRT_0^2/q\mathcal{E} \ll 1$ (c — теплоёмкость ВВ). Если эти неравенства слабые, тепловой В. вырождается — одновременно с ростом темп-ры происходит быстрое расхождение исходного вещества, что смазывает картину В.

Цепной В. осуществляется в системах, в к-рых развиваются разветвлённые цепные реакции. В процессе таких реакций возникают активные частицы — атомы или радикалы, ведущие реакцию. В простейшем случае скорость изменения концентрации n радикалов описывается ур-нием

$$\frac{dn}{dt} = w + (f - g)n,$$

где t — время, w — скорость спонтанного зарождения радикалов, f и g — соответственно факторы разветвления и обрыва цепей. Ход цепного процесса кардинально зависит от знака разности $\phi = f - g$. При $\phi < 0$ концентрация активных центров $n = w/|\phi|$ ничтожна, т. к. скорость их зарождения мала и реакция практически не идёт. Если $\phi > 0$, число активных центров лавинообразно (экспоненциально со временем) нарастает, и реакция развивается с огромной скоростью. Критич. условие $\phi = 0$ соответствует возникновению цепного В. Кривая зависимости $\phi = 0$ от темп-ры T и давления p (рис. 2) ограничивает область самовоспламенения, имеющую обычно вид полуострова. Границы полуострова наз. верхним и нижним пределами цепного В.

Тепловой и цепной режимы протекания В. могут осуществляться и при ядерных превращениях — реакциях синтеза и деления ядер (ядерный взрыв).

В. используют в геологии, при строительстве крупных сооружений (плотин, каналов, туннелей), в военном деле. В науч. исследованиях при помощи В. достигают экстремально высоких значений давления, темп-ры, плотности вещества. Исследование В. играет важную роль в физике неравновесных процессов, для получения магн. полей высокой напряжённости, для осуществления фазовых переходов и получения новых веществ (см. *Давление высокое*). Экспериментально исследуются энерговыделение разл. веществ при В., характеристики взрывных и детонац. волн и распределение в них физ. параметров (давления, плотности, темп-ры, спектрального состава эл.-магн. излучения, скорости хим. реакций). Для изучения В. создана спец. аппаратура — высокоскоростная киносъёмка, электронные приборы, позволяющие следить за развитием процессов, протекающих в чрезвычайно малые промежутки времени (до 10^{-11} с).

Лит.: Семёнов Н. Н., Цепные реакции, Л., 1934; Франк-Каменецкий Д. А., Диффузия и теплопередача в химической кинетике, 2 изд., М., 1967; Зельдович Я. Б., Компанец А. С., Теория детонации, М., 1955; Физика взрыва, 2 изд., М., 1975; Андреев К. К., Беляев А. Ф., Теория взрывчатых веществ, М., 1960; Щелкин Б. И., Трошин Я. К., Газодинамика горения, М., 1963; Математическая теория горения и взрыва, М., 1980.

ВЗРЫВНАЯ ВОЛНА — порождённое взрывом движение среды. Вследствие быстрого протекания хим. превращения продукты взрыва в его процессе не успевают расширяться, непосредственно после взрыва имеют высокую темп-ру и находятся под высоким давлением, к-рое передаётся окружающему очаг взрыва веществу. В каждый момент времени сжатие испытывает лишь определ. объём, вне к-рого среда не возмущена, причём оно передаётся от слоя к слою — возникает В. в. Область, охваченная В. в., быстро расширяется. Скачкообразное изменение состояния вещества на фронте В. в. (*ударная волна*) распространяется со сверхзвуковой скоростью.

Характеристики В. в. (скорость перемещения фронта, давление и темп-ра среды) могут быть найдены методами газовой динамики при условии, что известно ур-ние состояния вещества. Наиб. просто эта задача решается для В. в. в газах. Для твёрдых и жидких тел (вода, грунт, горные породы, металлы), ур-ние состояния к-рых сложны или неизвестны, параметры В. в. находятся методами подобия теории. При этом для практич. целей наиб. важны след. характеристики В. в.: давление на фронте волны p_m (макс. давление), время её действия τ и импульс $s = \int_0^{\tau} p_m(t) dt$ (рис.).