

нее (тем-ра воспламенения) неустойчиво. При малом превышении этой тем-ры энергвыделение превышает теплоотвод, что ведёт к увеличению скорости реакции и её дальнейшему лавинообразному ускорению (тепловой взрыв). Мн. процессы (взрыв, воспламенение, электр. пробой и т. д.) являются следствием положительной О. с. в системе (см. *Термодинамика неравновесных процессов*).

Как следует из (3), при плавном изменении коэф. передачи стационарная тем-ра может изменяться гистерезисным образом (рис. 4). Явление, для к-рого характерно существование в системе двух устойчивых стационарных состояний, наз. бистабильностью. Би-

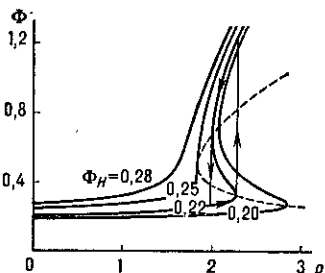


Рис. 4. Зависимость стационарной температуры Φ от параметра p . Пунктиром обозначена спинопольная кривая, проходящая через точки, где $\Phi(p)$ имеет вертикальную касательную. Для кривой $\Phi_H=0,22$ стрелками показана петля гистерезиса.

стабильность даёт возможность скачкообразных изменений состояния системы при непрерывном изменении соответствующего параметра, напр. коэф. передачи по каналу О. с. Теория скачкообразных изменений при непрерывном изменении параметра составляет предмет *катастроф теории*. Отображение гладкой поверхности Φ на плоскость параметров p и Φ_H характеризуется особенностью, называемой особенностью типа сборки (рис. 5). Отвечающая этой особенности бифуркац. граница $p = y^2 \exp(1/y)$, $y = (1 \pm \sqrt{1 \pm 4\Phi_H})/2$, разделяет на плоскости параметров $\{p, \Phi_H\}$ области, в к-рых ур-ние (3) имеет одно или три стационарных состояния.

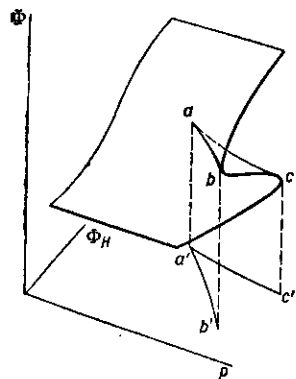


Рис. 5. Катастрофа сборки, характерная для задач теории теплового взрыва.

К тем же выводам можно прийти, рассматривая изображённый на рис. 2 усилитель, к-рый в отсутствие О. с. характеризуется нелинейной передаточной ф-цией $Z = f(z)$. В установившемся режиме величина сигнала z на входе усилителя определяется из ур-ния

$$U_{вх} + \beta f(z) = z, \quad (4)$$

где β — коэф. передачи по каналу О. с. Для нелинейной характеристики вида $f(z) = A \exp(-U_0/z)$ ур-ние (4) сводится к (3) простым переобозначением переменных. Если же усилитель без О. с. характеризуется линейным коэф. усиления $K_0 [f(z) = K_0 z]$, то из (4) определяется коэф. усиления K усилителя с О. с.: $K = K_0 / (1 - \beta K_0)$. Случай $\beta K_0 = 1$ соответствует потере устойчивости и возможности самовозбуждения усилителя.

Для нелинейного усилителя, описываемого ур-нием (4), аналогом рис. 4 является N -образная вольт-амперная характеристика, содержащая падающий участок. В ряде устройств полупроводниковой электроники (*Ганна диод, туннельный диод* и др.) аналогичный N -образный вид вольт-амперной характеристики реализуется благодаря положительной О. с., возникающей

при разогреве электронов в зонах проводимости (см. *Горячие электроны*).

Эффекты бистабильности (или мультистабильности), соответствующие скачки и гистерезисные явления характерны для мн. систем с положительной О. с. Напр., рис. 4 имеет качественно тот же вид, что и $V-T$ диаграмма, описываемая ур-нием Ван-дер-Ваальса; т. о., бистабильные системы ведут себя подобно системам с фазовым переходом (см. *Синергетика*).

В механич. системах примером бистабильности является скачкообразное изменение прогиба упругой пластинки под действием приложенной нагрузки. В оптич. системах важную роль играет бистабильность интенсивности когерентного света в резонаторе Фабри — Перо с насыщающимся поглотителем. Эффекты бистабильности можно наблюдать при лазерном нагреве среды с обратимой хим. реакцией $A \rightleftharpoons B$ в случае, когда свет селективно поглощается одним из реагентов.

В каждом из перечисленных примеров можно выделить свой механизм формирования О. с. Напр., при лазерном нагреве химически активная О. с. обусловлена зависимостью констант скоростей реакций от тем-ры и изменением поглощения света при изменении концентрации реагентов.

Новые динамич. свойства систем с О. с. возникают при увеличении числа степеней свободы. Так, для систем, описываемых двумя ур-ниями (1), на фазовой плоскости наряду с особыми точками — состояниями равновесия, могут также возникать особые траектории — предельные циклы, отвечающие *автоколебаниям*. Примером механич. системы с автоколебаниями являются часы с анкерным устройством, к-рое осуществляет О. с. между источником энергии (пружиной, гирей) и маятником.

Автоколебания — общее свойство нелинейных систем с положительной О. с. Колебания в газовом разряде, вызывающие мерцание неоновой рекламы, и самопроизвольное завывание водопроводной трубы при открывании крана, флаттер самолётов и звучание духовых и смычковых музыкальных инструментов с позиций теории отличаются лишь физ. механизмы формирования О. с. между разл. степенями свободы соответствующих систем и конкретные виды нелинейности.

В биол. системах важную роль играет О. с., ответственная за возникновение биоритмов и др. периодич. процессов, напр. дыхания и сердцебиения (см. *Биофизика*).

В экол. системах хорошо известны периодич. колебания численности популяций в сообществах типа «хищник — жертва». О. с. здесь осуществляется за счёт увеличения (уменьшения) скорости прироста численности хищников при увеличении (уменьшении) числа жертв, являющихся для них пищей.

В теории сосредоточенных систем с большим числом степеней свободы важную роль играет то обстоятельство, что динамич. переменные, как правило, изменяются с разными скоростями. Напр., в системе, описываемой ур-нием

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, x_2), \quad \epsilon \frac{dx_2}{dt} = f_2(x_1, x_2), \quad (5)$$

где ϵ — малый параметр, а f_1 и f_2 — одного порядка, x_1 является «медленной», а x_2 «быстрой» переменной. Эволюция такой системы на фазовой плоскости происходит след. образом. Из нач. состояния система «быстро» релаксирует к нуль-изоклине $x_2 = g(x_1)$, определяемой из ур-ния $f_2(x_1, x_2) = 0$, а затем «медленно» релаксирует вдоль этой нуль-изоклины к устойчивому состоянию равновесия. Это означает, что осн. время система пребывает вблизи траектории $x_2 = g(x_1)$, т. е. переменная x_2 «подчинена» переменной x_1 . Утверждение содержит содержание принципа подчинения, в силу к-рого дифференц. связь, задаваемая вторым ур-нием (5), может быть заменена на алгебраич. связь между пере-