

ударных В. и солитонов в средах со слабой дисперсией. Напр., при «лобовом столкновении» одинаковых ударных В. от места взаимодействия расходятся ударные В., имеющие большую амплитуду, чем первичные, что приводит к сильному повышению давления в области взаимодействия (для линейных В. одинакового знака и величины давление увеличивается вдвое). Это справедливо и для случая падения ударной В. на жёсткую преграду — рост давления более чем вдвое даёт толчок, увеличение разрушит. действия В.

Взаимодействие солитонов тоже происходит сложным нелинейным образом, но, как уже говорилось, в ряде случаев солитоны выходят из этого взаимодействия сохранившими свою структурную цельность, что и говорит об их «частиценодобности».

Волны в активных средах. Классификацию волновых режимов в активных средах, способных снабжать В. энергией, проводят по аналогии с колебат. режимами в системах с сосредоточенными параметрами: усиления, генерации и т. д. Эти режимы могут возникать мягким или жёстким образом в зависимости от того, происходит ли их запуск с нулевых или конечных, пороговых, значительных амплитуд. В мягком режиме система при определ. условиях оказывается неустойчивой и под действием сколь угодно малых флуктуаций покидает равновесное положение. На нач. стадии она ведёт себя как линейная динамич. система с отрицат. трением, и возмущения в ней растут по экспоненц. закону, что соответствует комплексным значениям частот или волновых векторов, т. е., в отличие от систем с сосредоточенными параметрами, неустойчивость может развиваться и во времени, и в пространстве. Её дальнейшая судьба может сложиться двояко. Если возмущение, зародившись в одной области пространства, сносится в сторону, последовательно отбирая энергию от разных участков активной среды и увеличиваясь по амплитуде, то неустойчивость наз. конвективной. На огранич. интервалах пространства это приводит к конечному усилению В. Так действуют мн. усилители В. в природе (напр., В. на воде, «подгоняемые» ветром) и технике (напр., В. в электронной лампе бегущей волны, где сигналы, поступающие на вход, сносятся электронным потоком, усиливаясь по пути).

Др. возможность состоит в том, что возмущение растёт всюду, в т. ч. в месте его появления. Это — а б с. неустойчивость, существующая благодаря наличию «внутренних» обратных связей, распределённых по всей активной системе. Примером может служить электронная лампа обратной волны, в к-рой возмущения, усиленные электронным потоком, переносятся эл. магн. полями в обратном направлении, подвергаясь многократному усилению. Конечно, в большинстве реальных систем чёткое разделение конвективных и абс. неустойчивостей оказывается невозможным; так, распределённый усилитель превращается в генератор при добавлении «внешней» обратной связи, если замкнуть этот усилитель в кольцо (соединить выход со входом) или ввести отражатели (зеркала), принуждающие возмущения многократно проводить через одни и те же участки активной среды. Так устроены *лазеры*, *гиротроны* и др. приборы с активными средами внутри резонаторов; сходным образом ведут себя упругие пластинки, обтекаемые потоком воздуха (флаттерная неустойчивость), и др.

Экспоненц. рост амплитуды возмущений не может длиться неограниченно: либо возмущение покидает активную область, либо наступает нелинейная стадия движения, к-рая может привести к установлению *автоколебаний* со стационарной амплитудой. Равновесие достигается в результате взаимокомпенсирующего действия нелинейности, диссипации и дисперсии. Так, рост В. может исчерпать энергетич. резерв среды или привести к росту потерь. Дисперсия, начиная с нек-рых амплитуд, может привести к выходу В. из режима синхронизации с «поставщиком энергии» (напр., электрон-

ным потоком), что приостановит рост амплитуды. При этом в случае сильной дисперсии «выживает» практически лишь одна гармоника, и стационарное движение представляет собой почти гармонич. В., а при слабой дисперсии форма возмущения сильно варьируется вплоть до пилообразных, прямоугольных и др. наборов импульсов. Их амплитуда, в отличие от ударных В. или солитонов в «пассивных» средах, не произвольна, а предопределяется параметрами активной системы.

Нелинейность может и ускорять поступление энергии к В.; тогда рост её амплитуды становится всё более быстрым (взрывная неустойчивость); ограничение такого роста обуславливается к.-л. иными нелинейными механизмами.

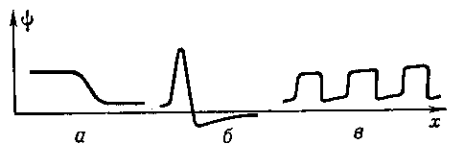
Автоволны. В известном смысле, «крайним» случаем В. в активных средах можно считать автоволны, в к-рых энергия возмущения в данной точке черпается в основном из элементов среды, находящихся в окрестности этой точки, а перенос энергии В. приводит к последоват. «запуску» или переключению этих элементов, переводящему их из одного состояния в другое (триггерный механизм). Наглядным примером может служить «волна падения» в цепочке костяшек домино, поставленных стоймя: каждый элемент «запускается» толчком от предыдущего, а затем падает под действием собств. веса, т. е. за счёт собств. потенц. энергии в поле тяжести. К автоволнам относят В. горения, В. детонации во взрывчатых веществах, импульсы возбуждения в нервных волокнах, а также В. эпидемий, экологич. происшествий и др. К ним можно отнести и старинный способ передачи сообщений с помощью последовательно зажигаемых свечей. «Обобществление» работы отдельных активных элементов в случае автоволн в распределённых системах обычно осуществляется за счёт процессов диффузионного типа.

Матем. моделью автоволновых процессов в одномерном случае обычно может служить система из двух (или более) нелинейных диффузионных ур-ний:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + f_1(\psi, \varphi), \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= D_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + f_2(\psi, \varphi), \end{aligned} \quad (33)$$

где $D_{1,2}$ — коэф. диффузии, $f_{1,2}$ — нелинейные ф-ции, описывающие поступление энергии к В. Напр., ψ может отвечать перепаду потенциала на толщине мембраны нервного волокна, а φ — ионной проводимости мембраны. Динамика такой системы часто включает быстрые

Рис. 20. Виды автоволн: а — необратимая волна переброса; б — импульсное возбуждение с восстановлением исходного состояния; в — периодические автоколебания.



перебросы из одного состояния в другое в пространстве и времени, разделённые участками сравнительно медленной релаксации. Это может быть либо необратимый перебор между двумя устойчивыми состояниями (как в В. горения — рис. 20, а), либо переход системы на короткий срок в возбуждённое состояние (нервный импульс — рис. 20, б), либо, наконец, автоколебат. процесс в виде периодич. последовательности таких переборсов (как в автоколебат. хим. реакциях — рис. 20, в).

В нек-рых хим. и биологич. системах возможны своеобразные двумерные и трёхмерные автоволны в виде неподвижных источников в произвольных, ничем не выделенных точках среды или вращающихся спиральных структур — ревербераторов, к-рые, возможно, ответственны за возникновение фибрилляций сердца.

Взаимодействие автоволн происходит принципиально нелинейным образом. Две автоволны (В. пламени, хим.