потерь, т. е. к их зависимости от ω или k. Декремент γ и действит. часть частоты $\mathrm{Re}\,\omega$ в силу *причинности принципа* не могут быть произвольными ф-циями k — соответствующие ограничения даются *дисперсионными соотношениями*.

В плавно неоднородных средах волновое поле достаточно хорошо описывается в приближении *геометрической оптики метода*, т. е. его можно представить как совокупность волн вида $A(\boldsymbol{r})\exp[i\omega t - i\Psi(\boldsymbol{r})]$. Аналогом дисперсионного ур-ния (1) в данном случае является ур-ние *эйконала* $\omega=\omega(\boldsymbol{k}, \boldsymbol{r})$, связывающее частоту ω с локальным значением волнового вектора $\boldsymbol{k}(\boldsymbol{r})=\nabla\Psi(\boldsymbol{r})$. Закон дисперсии определяет ур-ния лучей:

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=\boldsymbol{v}_{\text{гр}}=\frac{\partial\omega}{\partial\boldsymbol{k}},\quad \frac{d\boldsymbol{k}}{dt}=-\frac{\partial\omega}{\partial\boldsymbol{r}}. \qquad (2)$$

В неоднородных средах Д. в. приводит к дополнит. эффекту — зависимости трассы распространения (лучей) от частоты. В системах с изменяющимися во времени параметрами (*параметрических колебательных системах*), кроме того, вдоль трассы распространения изменяется частотный спектр сигнала. В средах, где характерные размеры неоднородностей сравнимы с масштабами изменения поля, эффекты Д. в. часто нельзя отделить от дифракционных эффектов.

В нелинейных системах суждение о Д. в. может быть составлено на основе представлений об инерционности и нелокальности линейных взаимодействий (соответствующие свойства нелинейных взаимодействий иногда квалифицируют как нелокальность нелинейности). Примером, объединяющим нелинейность и дисперсию, может служить класс физ. явлений, описываемых *Кортевега — де Фриса уравнением*, впервые полученным (1895) для волн на мелкой воде:

$$\eta_t+(c_0+c_1\eta)\,\eta_x+\gamma\eta_{xxx}=0, \qquad (3)$$

где $\eta=\Delta h/h_0$ — относительное возмущение поверхности, h_0 — глубина водоёма, $c_0=\sqrt{gh_0}$, $c_1={}^3/_2c_0$, $\gamma={}^1/_6c_0h_0^2$. В приближении малых амплитуд ($\eta\to0$) можно пренебречь нелинейностью; тогда ур-нию (3) соответствует дисперсионное ур-ние вида

$$\omega=c_0k-\gamma k^3, \qquad (4)$$

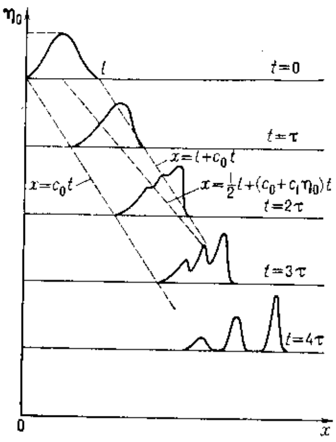

Рис. 5. Распространение длинной волны в нелинейной системе с реактивной дисперсией.

Как следует из (4), ответственным за Д. в. является последний член в (3). В случае плавных возмущений, характерные масштабы к-рых $l\gg h_0$, можно пренебречь Д. в., и тогда (3) переходит в ур-ние простой волны, в к-рой амплитуда η постоянна вдоль характеристик $x=x_0+(c_0+c_1\eta)t$. По мере распространения такого плавного возмущения (рис. 5) передний фронт волны становится круче; в отсутствие Д. в. это привело бы в конечном счёте к его обрушению. Однако Д. в. останавливает этот процесс, и волна становится сначала изрезанной, а затем разбивается на серию почти автономных, сохраняющих форму всплесков (*солитонов*), каждый из к-рых движется со своей скоростью. Существование стационарных нелинейных волн (солитонов и периодич. кноидальных волн) является важным проявлением Д. в., присущим многим нелинейным системам. При этом амплитуда, скорость и характерная длина оказываются связанными нелинейными дисперсионными ур-ниями; соответственно, зависимость скорости стационарной волны от её структурных параметров наз. нелинейной Д. в. Относительно др. дисперсионных эффектов в нелинейных, в т. ч. и диссипативных, средах см. *Нелинейные колебания и волны*, *Бюргерса уравнение*, *Ударная волна*.

Неодномерные волновые возмущения даже в однородных недиспергирующих средах демонстрируют иногда поведение, имитирующее Д. в. Наиб. известным и часто встречающимся примером являются цилиндрич. импульсные сигналы в свободном пространстве, оставляющие за собой бесконечно тянущиеся шлейфы. Эти эффекты также порой относят к Д. в., хотя они не удовлетворяют её канонич. определениям.

Лит.: Мандельштам Л. И., Полн. собр. трудов, т. 5, М., 1950; Карпман В. И., Нелинейные волны в диспергирующих средах, М., 1973; Уизем Дж., Линейные и нелинейные волны, пер. с англ., М., 1977; Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П., Теория волн, М., 1979.

М. А. Миллер, Г. В. Пермитин.

ДИСПЕ́РСИЯ ЗВУ́КА (дисперсия скорости звука) — зависимость фазовой скорости гармонич. звуковых волн от частоты. В широком смысле это понятие применяется и к др. типам *упругих волн*. Д. з. обусловливает различие между фазовой и *групповой скоростью* звука, а также изменение формы огибающей *импульса акустического* при его распространении на большое расстояние (напр., в гидроакустике, атм. акустике и геоакустике). В нелинейной среде (см. *Нелинейная акустика*) Д. з. приводит к нарушению волнового синхронизма между исходной волной и генерируемыми ею гармониками, в результате чего замедляется переход звуковой энергии в высшие гармоники, уменьшается затухание исходной волны и замедляется или подавляется образование *ударных волн*.

Различают два осн. вида Д. з.: релаксационную, обусловленную эффектами упругого последействия в веществе, в к-ром распространяется звуковая волна (см. *Релаксация акустическая*), и дисперсию *нормальных волн*, обусловленную волноводным характером их распространения. Релаксац. Д. з. всегда сопровождается избыточным *поглощением звука*, к-рое связано с Д. з. *Крамерса — Кронига соотношением*. Дисперсия нормальных волн с поглощением не связана и характерна для *волновода акустического*, в к-ром распространяется нормальная волна. Изучение релаксац. Д. з. и сопровождающего её поглощения (т. н. *акустическая спектроскопия*) — важнейший метод исследования разнообразных процессов в веществе, обусловливающих явление упругого последействия; наблюдение этих процессов неакустич. методами затруднительно, а зачастую и невозможно.

В однородных средах Д. з. обусловлена релаксац. процессами, идущими на молекулярном уровне локально, т. е. в каждом элементе среды, независимо от др. элементов. В микронеоднородных средах, где размер неоднородностей l и расстояния между ними малы по сравнению с длиной звуковой волны λ (напр., взвеси, эмульсии, жидкости с газовыми пузырьками, поликристаллы — в области звуковых и УЗ-частот), могут иметь место и нелокальные релаксац. процессы, заключающиеся в обмене энергией между разнородными компонентами среды. Отставание изменения объёма, связанного с релаксац. процессом, от изменения давления в звуковой волне приводит к зависимости скорости звука c от отношения характерного времени процесса τ к периоду звуковой волны (от величины $\omega\tau$, где ω — частота звука). Эта зависимость и определяет релаксац. Д. з.

Кроме релаксац. Д. з. в микронеоднородных средах существует также пространственная Д. з., к-рая обусловлена зависимостью c от l/λ и, как и дисперсия нормальных волн, с поглощением не связана. Пространственная Д. з. наблюдается также в кристаллах на гиперзвуковых частотах, когда пространственная периодичность кристаллич. решётки приводит к пространственной дисперсии упругих свойств кристаллов (см.