

магн. момента (синусоидальные и геликоидальные магнитные структуры); плотности спинов (см. *Спиновой плотности волны*); плотности электр. заряда (см. *Волны зарядовой плотности*); степени упорядочения в сплавах (периодич. структуры антифазных доменов); смещений пиков относительно их положений в исходной фазе; угла наклона молекул в слое смектич. жидкого кристалла (киральные смектики) и т. п.

При иррациональном отношении периода «замороженной волны» к периоду осн. структуры термодинамич. потенциал системы не меняется при сдвиге «замороженной волны» как целого (изменением её фазы). Это означает, что Н. с. относится к вырожденным системам, энергия к-рых не меняется при однородном по объёму изменении нек-рой фазы.

Одно из проявлений вырожденности Н. с. — наличие в ней наряду с обычными акустич. фоновыми ветвями (см. *Колебания кристаллической решётки*) дополнит. акустич. ветвей (от 1 до 3) с частотой ω , обращающейся в 0 при стремлении к 0 волнового вектора k . Такие возбуждения наз. *фазонами*. В отличие от акустич. фонона частота длинноволнового фазона меньше коэф. затухания и возбуждение носит не колебательный, а релаксационный характер. Это объясняется тем, что даже при сдвиге «замороженной волны», переводящем кристалл в энергетически эквивалентное состояние, происходят смещения атомов в Н. с. друг относительно друга и, следовательно, при конечной скорости этого сдвига имеет место диссипация энергии. Наличие фазона проявляется при неупругом рассеянии излучений, а также в особенностях спин-решёточной релаксации.

Др. важным следствием вырожденности Н. с. является влияние на их свойства дефектов кристалла. Если энергия дефекта зависит от параметра, модуляция к-рого описывает Н. с., дефект фиксирует фазу «замороженной волны» в точке своей локализации. В результате при конечной концентрации случайно расположенных дефектов Н. с. искажается. При этом дальний порядок в Н. с. отсутствует, т. е. дифракц. максимумы, отвечающие «замороженной волне», должны иметь конечную ширину даже в бесконечном кристалле. Это — результат того, что возмущения, вносимые в Н. с. дефектом, медленно спадают по мере удаления от дефекта ($\sim r^{-1}$).

Рассмотрим изолированный неподвижный дефект в Н. с. Смещение «замороженной волны» как целого связано для такой системы с проигрышем в энергии, т. е. «волна» не находится больше в безразличном равновесии. Возникает захват «волны». Др. словами, фазон перестаёт быть возбуждением с частотой $\omega \rightarrow 0$ при $k \rightarrow 0$, т. е. в спектре фазона возникает энергетич. щель. Сказанное справедливо для $T = 0$ К. Т. к. фаза «волны» определена неоднозначно, изменение её локального значения на $2\pi l$ (l — целое число) не изменяет энергии дефекта. Т. о., дефект закрепляет «волну» не вполне жёстко: допускаются скачкообразные её перемещения относительно дефекта с переходом через энергетич. барьер. При $T > 0$ К такие перемещения возможны в результате термоактивации, процесса при сколь угодно слабой силе, стремящейся сместить волну, т. е. щель для фазона, строго говоря, отсутствует. В системе с конечной концентрацией дефектов Н. с. имеет множество метастабильных состояний. Поэтому приближение к равновесию в Н. с. с дефектами обладает особенностями, характерными для *стёкол*, в частности, имеет место долговрем. релаксация, не описываемая простыми экспоненциальными зависимостями от времени.

Долговрем. релаксация проявляется в гистерезисе, напр. для температурной зависимости периода волны λ (в единицах постоянной решётки осн. структуры). Наблюдаются две разл. зависимости $\lambda(T)$ для нагревания и охлаждения. Это означает, что в обоих случаях наблюдаются неравновесные структуры. Если фиксировать T в течение долгого времени (иногда сотни ч), то λ приближается к равновесному значению, промежуточному между значениями, соответствующими нагре-

ванию и охлаждению. Релаксация λ отличается от экспоненциальной. Если после нек-рого охлаждения кристалла начать нагревание, то λ остаётся постоянным до тех пор, пока не будет достигнута кривая нагревания, и затем λ изменяется в соответствии с этой кривой (аналогично при переходе от нагревания к охлаждению). Это означает, что заметное изменение периода Н. с. λ происходит только при конечной величине перегрева или переохлаждения. При переходе от охлаждения кристалла к нагреву λ начинает изменяться лишь с нек-рой величины перегрева.

Возможны также др. эффекты в Н. с., связанные с диффузией дефектов. При длит. выдержке кристалла при данном T дефекты перераспределяются, собираясь в наиб. энергетически выгодных участках «волны». «Замороженная волна» дефектов может затем долгое время сохраняться в кристалле, и момент прохождения той темп-ры, при к-рой происходило формирование этой «волны», отмечается по особенностям в температурной зависимости разл. величин.

Кроме взаимодействия «волны» с дефектами кристалла структура Н. с. в большой мере определяется взаимодействием «волны» с осн. структурой. В трёхмерных системах благодаря этому взаимодействию Н. с. в строгом смысле слова не существуют даже в идеальном кристалле. Можно показать, что при иррациональном отношении λ периода «замороженной волны» к периоду осн. структуры система обладает большим термодинамич. потенциалом, чем при любом рациональном значении λ , бесконечно близком к данному иррациональному. Поэтому при данной T существует бесконечное число устойчивых фаз с разл. (рациональными) значениями λ . При изменении T равновесная система должна испытывать бесконечное число фазовых переходов между этими соразмерными (С) структурами. В большинстве случаев, однако, скачки разл. величин, напр. теплоёмкости, при таких переходах оказываются столь малыми, что свойства системы неотличимы от свойств Н. с. В двумерных системах влияние осн. структуры ослаблено из-за тепловых флуктуаций (роль к-рых возрастает при переходе к системам меньшей размерности). При конечной T устойчивыми оказываются только соразмерные фазы с не очень большим отношением периодов. На фазовой диаграмме с ними граничат особые Н. с. с «квазидальным порядком», когда соответствующие корреляц. функции обнаруживают не простое осцилляц. поведение (как для периодич. структуры), а с амплитудой осцилляций, убывающей с расстоянием по степенному закону.

В большинстве случаев Н. с. наблюдаются как промежуточная фаза, расположенная на фазовой диаграмме между двумя соразмерными фазами, причём группы симметрии этих фаз связаны соотношением группа — подгруппа. Более симметричную фазу наз. обычно нормальной (Н), менее симметричную — соразмерной (С). Характер Н. с. претерпевает заметную эволюцию при изменении внеш. параметров. Наиб. типичным является случай, когда вблизи темп-ры перехода из Н-фазы ($T = T_i$) распределение соответствующего параметра в «замороженной волне» имеет синусоидальный характер. При удалении от T_i увеличиваются вклад высших гармоник в пространств. распределение этого параметра и Н. с. становится похожей на периодич. структуру доменов С-фазы (говорят также о периодич. решётке *солитонов*, обозначая термином «солитон» границу доменов). При приближении к переходу в С-фазу ($T = T_c$) расстояние между солитонами увеличивается. Если оно стремится к бесконечности, происходит непрерывный переход в С-фазу. В большинстве случаев, однако, переход в С-фазу носит скачкообразный характер.

Для описания свойств Н. с. вблизи T_c полезна след. картина её образования. Рассмотрим доменную границу в С-фазе. При определённых условиях её энергия может изменить знак, став отрицательной. В системе начнётся размножение доменных границ, их равновесная