



# КВАНТОВАЯ АКУСТИКА

Авторы: Е. В. Чарная

---

КВАНТОВАЯ АКУСТИКА, область акустики, изучающая явления, связанные с возбуждением и распространением акустических волн и допускающие интерпретацию только в рамках квантовомеханических представлений. При этом в одних случаях акустическая волна рассматривается как поток когерентных квазичастиц – [фононов](#) с определёнными частотой, квазиимпульсом и поляризацией, в других случаях акустические волны описываются средствами классической физики, а взаимодействующие с ними системы – методами квантовой механики.

К квантово-акустическим явлениям относятся прежде всего [акустический ядерный магнитный резонанс](#) и [акустический парамагнитный резонанс](#). Сущность этих резонансов состоит в акустическом возбуждении переходов между уровнями энергии ядер или электронов в твёрдых телах, помещённых в постоянное магнитное поле, при приближении энергии звуковых квантов (фононов) к разности энергий пары ядерных или электронных уровней. Вследствие этого может происходить резонансное поглощение энергии акустических колебаний системой ядерных или электронных спинов, выражающееся в росте коэффициента затухания звука, а также изменение населённостей спиновых уровней, приводящее, в частности, к акустическому насыщению линии ядерного магнитного резонанса. Кроме того, при воздействии акустических импульсов на резонансной частоте наблюдаются нестационарные процессы в ядерных и электронных подсистемах.

К области К. а. в широком смысле относятся многие явления, трактуемые на основе квантовой механики. В этом плане К. а. смыкается с различными разделами физической и прикладной акустики, в которых рассматриваются вопросы распространения фононов, возникновение звуковых волн в средах под действием оптического излучения (см. [Оптоакустика](#)), взаимодействие акустических колебаний с

оптическим излучением и электронами проводимости в металлах и полупроводниках (см. [Акустооптика](#), [Акустоэлектроника](#)), одновременное воздействие на фононную систему электрических и магнитных полей ([акустомагнитоэлектрический эффект](#)). К. а. рассматривает также явления, связанные с распространением и генерацией высокочастотных колебаний при низких температурах, когда квантовые эффекты играют доминирующую роль. Например, поглощение высокочастотных акустических волн в диэлектрических кристаллах (затухание Ландау – Румера) происходит за счёт столкновений с тепловыми фононами и описывается в рамках представлений о трёхчастичных процессах. [Акустоэлектронное взаимодействие](#) в металлах при низких температурах в области фазовых переходов в сверхпроводящее состояние допускает интерпретацию только исходя из квантовомеханической модели образования связанных (куперовских) электронных пар. При этом температурная зависимость затухания акустических волн в сверхпроводящей фазе зависит от соотношения энергии звукового кванта (фонона) и энергии связи электронов в паре.

Квантовомеханический подход объясняет природу звуковых волн в сверхтекучем гелии, а также возможность выбивания атомов с поверхности жидкого гелия звуковой волной (акустический аналог фотоэффекта). Квантовомеханический подход применяется при анализе распространения, затухания и генерации как объёмных, так и поверхностных акустических колебаний (амплитуда которых спадает с удалением от поверхности).

В кон. 20 в. сформировались новые направления К. а., связанные с исследованиями генерации и распространения акустических колебаний в низкоразмерных системах (полупроводниковых гетероструктурах, тонких плёнках и слоистых структурах, кристаллах нанометровых размеров, углеродных нанотрубках и т. п.). Значительный интерес к квантово-акустическим явлениям в таких системах обусловлен в первую очередь перспективами их практического использования в микроэлектронике и устройствах обработки информации. В частности, применение [поверхностных акустических волн](#) позволяет управлять динамикой электронов в двумерных структурах, состоящих из тонкого металлического слоя между двумя полупроводниковыми слоями. Дополнительное приложение к такой системе магнитного поля приводит к сильным квантовым осцилляциям поглощения и скорости

поверхностных акустических волн. Импульсные акустические поля могут менять населённости электронных состояний в [квантовых точках](#) при низких температурах. Квантовые точки в полупроводниках могут служить эффективными преобразователями для высокочастотных акустических волн, а также приводить к эффективному возбуждению высокочастотных акустических импульсов под действием коротких световых импульсов. Планарные структуры из квантовых точек являются перспективными для эффективной генерации акустических фононов. За счёт [акустоэлектрического эффекта](#) в углеродных нанотрубках оказывается возможным возбуждение в них звуковых волн радиочастотными электрическими полями. К современным направлениям К. а. относится также исследование распространения звука в сверхтекучем гелии, введённом в узкие каналы-поры наноструктурированных пористых материалов. Значительное внимание уделяется таким вопросам, как протекание акустоэлектрического тока в каналах нанометрового диаметра.

В 2000–10-х гг. активно исследуются проблемы, связанные с особенностями распространения акустических волн высокой частоты в структурах с периодическими неоднородностями нанометрового размера (типа фононных кристаллов). Многие вопросы, относящиеся к области акустооптики и акустоэлектроники в фононных кристаллах решаются в рамках квантовомеханического подхода. Получение [графена](#) и аналогичных двумерных кристаллов (кремния, фосфора и др.) стимулировало большой интерес к анализу различных эффектов, приводящих к генерации и поглощению фононов в таких двумерных структурах. Обсуждаются возможности использования высокочастотных поверхностных акустических волн гигагерцевого диапазона в [квантовых компьютерах](#) для эффективной связи в системе [кубитов](#).

## Литература

Лит.: Такер Дж., Рэмптон В. Гиперзвук в физике твердого тела. М., 1975; Ультразвук: Маленькая энциклопедия / Под ред. И. П. Голяминой. М., 1979; Handbook of acoustics / Ed. M. J. Crocker. N. Y., 1998; Devos A. Phonons in Nanoscale Objects, in Handbook of Nanophysics, Principles and Methods / Ed. K. D. Sattler, 2010; Maris H. J. Quantum acoustics. In McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology Online, 2012, DOI:

<http://dx.doi.org/10.1036/1097-8542.562350>.