



КВАНТОВА АКУСТИКА — галузь фізики твердого тіла, що охоплює акустичними дослідженнями різноманітні явища в твердих тілах, для теоретичної інтерпретації яких використовують уявлення та принципи [квантової механіки](#). Квант. підхід передбачає, що в цих явищах виявляються індивід. властивості елементар. акустич. збуджень — фононів, такі, як частота фонона, його тип, напрям поширення та час життя. К. а. найбільший розвиток отримала в Україні, де в Харків. фіз.-тех. інституті НАНУ й Інституті радіофізики та електроніки НАНУ (Харків) уперше виконано теор. дослідж. фундам. акустич. властивостей твердого тіла ([Л. Ландау](#), [О. Ахієзер](#), [Е. Канер](#)). В Інституті радіофізики та електроніки НАНУ також уперше проведено експерим. дослідж. поширення когерент. довгоіснуючих фононів — гіперзвук. хвиль у досконалих діелектрич. кристалах (кварц, сапфір та ін.) при низьких T -рах в умовах, коли $\omega\tau \gg 1$, де ω — частота фонона, τ — час його життя. Там також були створені нові методи збудження та прийому гіперзвук. хвиль у твердому тілі при низьких T -рах на частотах до 100 ГГц, коли довжина хвилі є порівняною з розмірами елементар. комірки кристаліч. решітки. У цих дослідж. були застосовані ефективні радіофіз. засоби оброблення гіперзвук. сигналів, які дозволили отримати надійну інформацію про зміни характеристик гіперзвук. хвилі в кристалі під впливом магніт. поля та температури. Водночас експериментально встановлено механізм поглинання поздовж. гіперзвук. хвиль у діелектрич. кристалі при низьких T -рах, пов'язаний з трифонон. процесом взаємодії поздовж. фононів в умовах «незбереження» їхньої енергії, який теоретично передбачено англ. вченим С. Саймонсом; відкрито явище акустич. парамагніт. резонансу (АПР) у кристалах, у яких парамагнітні центри мають сильну електрон-фононну взаємодію ([Є. Ганапольський](#)). Відкриття АПР стало важливим етапом у розвитку дослідж. з К. а. Метод, створений на основі АПР, дав можливість вивчати не тільки електрон. енергет. спектр домішк. парамагніт. центра, але і його електрон-фононну взаємодію, що особливо важливо для центрів, де ця взаємодія досить велика. Застосування цього методу стало підґрунтям для розвитку нового напрямку в радіоспектроскопії твердого тіла — гіперзвук. АПР спектроскопії. Методом гіперзвук. АПР спектроскопії вивчено електронні енергет. спектри парамагніт. центрів з сильною електрон-фононною взаємодією у діелектр. і напівпровідник. кристалах, які використовують у квант. і напівпровідник. електроніці. За допомогою АПР досліджено динаміч. ефект Яна-Теллера (сукупність явищ, обумовлених взаємодією електронів із коливани-

ями атом. ядер у молекулах або твердих тілах при наявності виродження електрон. станів). У неоднорід. діелектрич. кристалі відбувається розсіювання гіперзвук, однак, якщо воно є пружним, то його можна звернути, тобто повернути хвилю в стан, який вона мала до розсіювання. Цей ефект був експериментально відкритий Є. Ганапольським, [О. Королюком](#) і В. Таракановим. У фоточутливому кристалі сульфіді кадмію вони спостерігали також ефект стрибк. електронної провідності, індуков. інтенсив. гіперзвук. хвилею. Гіперзвук в умовах АПР поглинається в кристалі за рахунок переходів між енергет. рівнями, що належать до парамагніт. центра. Якщо активізувати такий кристал шляхом електромагніт. накачування додатк. пари рівнів центра, створивши інверсію населеностей для другої визначеної пари рівнів, частота переходу між якими дорівнює частоті гіперзвук. хвилі, поглинання хвилі заміниться її підсиленням. На цьому ґрунтується ідея Ч. Таунса, яка полягає у створенні на основі такого ефекту квант. генератора когерент. фононів, подібного до лазера. Однак для цього інверсії населеностей рівнів виявилось недостатньо. Це пов'язано з тим, що система парамагніт. центрів із інверс. населеністю є суттєво нелінійною для гіперзвук. Тому у гіперзвук. резонаторі, який здійснює зворот. зв'язок у цій системі, потрібно створити умови для самозбудження когерент. фононів. Є. Ганапольський і Д. Маковецький виявили ці умови та вперше створили квант. генератор когерент. гіперзвук. коливальний — акустич. аналог лазера — фазер. Із підвищенням потужності електромагніт. накачування у фазер. системі завдяки її нелінійності відбувається стрибкоподібне зростання інтенсивності фазер. генерації когерент. фононів і числа генеруючих мод. До К. а. належать також ультразвук. дослідж. нормал. і надпровід. металів при низьких T -рах, в яких виявлено низку квант. ефектів. Досліджуючи акустичні властивості кристала чистого металу в магніт. полі при низьких T -рах, можна отримати відомості про структуру його електрон. енергет. спектра. Таким способом відкрито ефект гігант. квант. осциляцій коефіцієнта поглинання та дисперсії фазової швидкості ультразвуку в металах у квантуючому магніт. полі. Цей ефект теоретично передбачили В. Гуревич, В. Скобов і Ю. Фірсов, а потім експериментально виявили О. Корольок і Т. Прущак. Гігант. квант. осциляції ультразвуку обумовлені квантуванням енергії електронів провідності металу в магніт. полі та періодич. включенням при зміні цього поля безштовхал. взаємодії з ультразвуком хвилею тих електронів на поверхні Фермі, швидкість яких співпадає зі швидкістю хвилі. Оскільки поглинання та фазова швидкість ультразвуку зазнає різних змін при T -

рах металу, де відбувається фазовий перехід у надпровід. стан, методи К. а. є ефектив. інструментом для вивчення властивостей надпровідників. К. а. охоплює й дослідж. ядер. магніт. акустич. резонансу — вибірк. поглинання енергії ультразвук. хвилі ядер. спін-системою в магніт. полі. Осн. методами його дослідж. є розширення резонанс. лінії при насиченні ядер. магніт. резонансу акустич. полем, а також подвійний магнітоакустич. резонанс, який полягає в одночас. збудженні системи ядер. спінів двома змінними полями, одне з яких акустич., а ін. — електромагніт. природи.

Рекомендована література

1. Корольок А. П., Прущак Т. А. Новый тип квантовых осцилляций коэффициента поглощения ультразвука в цинке // ЖЭТФ. 1961. Т. 41;
2. Ганапольский Е. М., Чернец А. Н. Возбуждение гиперзвука медленными электромагнитными волнами // Докл. АН СССР. 1963. Т. 149;
3. Ганапольский Е. М., Киселев Р. В., Чернец А. Н. Возбуждение гиперзвука в миллиметровом радиодиапазоне // Там само. 1970. Т. 191;
4. Такер Дж., Рэмптон В. Гиперзвук в физике твердого тела / Пер. с англ. Москва, 1975;
5. Ганапольский Е. М. Метод гиперзвуковой АПР-спектроскопии примесных центров в кристаллах // Спектроскопия кристаллов. Ленинград, 1975;
6. Магнитная квантовая акустика. Москва, 1977;
7. Ганапольский Е. М., Маковецкий Д. Н. Усиление и генерация когерентных фононов в рубине при инверсии населенностей спиновых уровней // ЖЭТФ. 1977. Т. 72, вып. 2;
8. Ганапольский Е. М., Корольок А. П., Тараканов В. В. Обращение остаточного затухания продольного гиперзвука в диэлектрических кристаллах при низких температурах // Там само. 1982. Т. 82;
9. Handbook of acoustics. New York, 1998.

Є. М. Ганапольський

Бібліографічний опис:

Квантова акустика / Є. М. Ганапольський // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2012. — Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-11522>

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).