

УДК 629.127.005

DOI: 10.17223/00213411/64/7/48

И. ХИДИРОВ, С.Дж. РАХМАНОВ, Ш.А. МАХМУДОВ

О СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЙ АМПЛИТУДЕ НУЛЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ АТОМОВ В КРИСТАЛЛЕ

Показано, что значения энергии и амплитуды нулевых колебаний атомов в кристалле, обусловленных принципом неопределенности, зависят от динамических характеристик атомов. Установлено, что среднеквадратичная амплитуда тепловых и нулевых колебаний атомов в решетках элементов периодической таблицы Менделеева, как и другие свойства, имеет периодическую зависимость от порядкового номера элементов. Показано, что значение среднеквадратичной амплитуды тепловых колебаний атомов в элементах с высоким значением температуры Дебая при комнатной температуре не сильно отличается от значения амплитуды нулевых колебаний атомов (при $T = 0$ К). Это объясняется малым числом возбужденных колебаний с максимальной частотой в этих кристаллах при комнатной температуре, так как комнатная температура гораздо ниже, чем их температура Дебая, при которой возбуждается весь спектр тепловых колебаний атомов в кристалле. Результаты могут быть использованы в материаловедении и технологии для оценки прочностных и теплофизических характеристик материалов при криогенных температурах, не прибегая непосредственно к их измерению при температуре абсолютного нуля.

Ключевые слова: температура абсолютного нуля, среднеквадратичная амплитуда, нулевые колебания атомов, температура Дебая, функция Дебая, периодическая система элементов Менделеева, порядковый номер элемента, конфигурация внешних электронов.

Введение

Известно, что атомы в кристалле совершают непрерывные тепловые колебания около идеального равновесного положения в узлах кристаллической решетки. Экспериментально показано, что амплитуда этих колебаний в среднем составляет 5–7% от периода кристаллической решетки. С увеличением температуры кристалла увеличиваются и эти величины и при определенных температурах доходят до таких значений, что наблюдается процесс плавления. При понижении температуры амплитуда тепловых колебаний атомов уменьшается. Кажется, что при температуре абсолютного нуля ($T = 0$ К) тепловые колебания атомов около точки равновесия должны прекратиться и амплитуда тепловых колебаний должна была бы равняться нулю. Однако многочисленные теоретические и экспериментальные работы указывают на то, что колебания атомов в кристалле при $T = 0$ К не прекращаются [1]. Эти колебания не имеют отношения к температуре и поэтому называются нулевыми колебаниями. Амплитуда нулевых колебаний гораздо меньше, чем межатомное расстояние в решетке. Поэтому она не несет и не передает энергию. Колебание определяется квантовой природой атомов, объясняемой принципом неопределенности квантовой физики, согласно которой $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$. Из этого соотношения получается, что точное определение координаты колеблющегося атома в пространстве, например, как $x = 0$, вызывает большую неопределенность в его импульсе и соответственно в его кинетической энергии. Покоящийся атом с $\Delta p_x = 0$ также приводит к бесконечному росту его координаты. Следовательно, энергия нулевых колебаний представляет собой минимальные значения энергии и координаты, которые может иметь атом. Соответственно атомы в кристалле при температуре $T = 0$ К колеблются с нулевой частотой, соответствующей нулевой энергии [2]. Нулевые колебания атомов как реальный процесс в кристалле сказываются на многих его свойствах [3–6]. В частности, в работе [5] показано, что в основе уникальных явлений сверхпроводимости и сверхтекучести лежит обтекание упорядоченных нулевых колебаний.

Поскольку нулевые колебания совершаются в определенной среде, имеющей определенные силовые характеристики, то энергия и соответственно амплитуда нулевых колебаний атомов должны быть различными для разных кристаллов и должны зависеть от энергетических характеристик их решетки. Однако работ, посвященных данному вопросу, нам не встречались. Кроме того, известно, что свойства элементов периодической системы Менделеева имеют зависимость от порядкового номера элементов. Представляет интерес установить такую зависимость и для среднеквадратичной амплитуды нулевых колебаний атомов в элементах периодической системы Мен-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>