ВАКУУМНАЯ ЭНЕРГИЯ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО КРИСТАЛЛА*

И.С. Калиниченко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Изучается энергия двумерного электронного кристалла в пределе низких плотностей. Показано, что первая поправка к электростатической энергии кристалла задается выражением $1.62733r_s^{-3/2}$ Ry. Ответ получен с помощью метода численного интегрирования.

Ключевые слова: вигнеровский кристалл, вакуумная энергия.

Введение

Тот факт, что система взаимодействующих электронов на однородном компенсирующем фоне кристаллизуется при достаточно низких плотностях, считается сейчас общепринятым. Эта идея принадлежит Вигнеру [1], а соответствующая кристаллическая структура называется вигнеровским кристаллом. Так, например, конечной эволюцией белых карликов, по-видимому, является трехмерный вигнеровский кристалл. Двумерный электронный кристалл может быть создан, например, над поверхностью жидкого гелия приложением сильного электрического поля в направлении, перпендикулярном поверхности [2].

Энергия основного состояния N -электронного кристалла выглядит следующим образом:

$$\frac{E}{N} = \frac{a}{r_s} + \frac{b}{r_s^{3/2}} + \frac{c}{r_s^2} + \dots, \quad (1)$$

где r_s есть радиус сферы, совпадающей по объему с объемом, приходящимся на один электрон и измеренный в радиусах Бора. Первый член в (1) соответствует классической электростатической энергии, второй представляет собой энергию вакуумных колебаний фононов, третий и последующие описывают ангармонические эффекты. Ясно, что в пределе очень низких плотностей ($r_s \gg 1$) тип решетки определяется первым членом разложения. В трехмерном случае минимальную электростатическую энергию имеет ОЦК-решетка, в двумерном – это гексагональная (треугольная) решетка.

Разумно ожидать, что при увеличении плотности электронов возможен фазовый переход к другому типу решетки. Так, в работах [3, 4] обнаружены серии фазовых переходов в приближении Хартри – Фока. Аналогичные вычисления в рамках фононной теории отсутствуют. Здесь важно отметить, что энергии конкурирующих типов решеток чрезвычайно близки. В связи с этим задача о поиске возможных фазовых переходов сводится к задаче о прецизионном определении коэффициентов в формуле (1) для различных типов решеток. Значения коэффициентов a , b и c для трехмерной ОЦК-решетки известны с высокой степенью точности [5]. В двумерном случае с высокой степенью точности известен только первый член $-2.212205221r_s^{-1}$ [6], в качестве ответа для вакуумного вклада приводится [7, 8] величина $1.59r_s^{-3/2}$, что, по-видимому, соответствует результату, полученному квантовым методом Монте-Карло, а не вычислениям в рамках теории фононов, первая ангармоническая поправка также не известна. Настоящая работа посвящена получению прецизионного выражения для вакуумной энергии двумерного вигнеровского кристалла в пределе низких плотностей.

* Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 0721-2020-0033.

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>