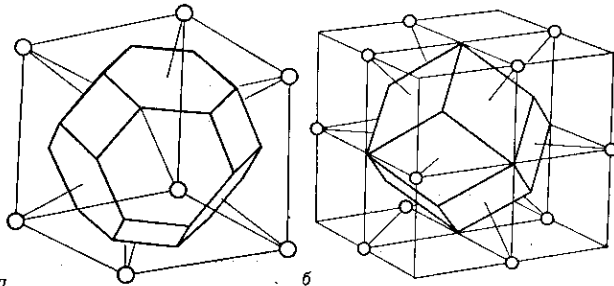


ту же точечную симметрию, что и его *Браве решётка*. При смещении на векторы трансляции решётки В.—З. я. заполняют собой весь кристалл. В В.—З. я. содержится по одному трансляционно-неэквивалентному узлу всех типов, имеющих в данной кристаллич.



а  
б  
Ячейка Вигнера — Зейтца: а — для объёмноцентрированного кристалла (усечённый октаэдр); б — для граничноцентрированного кристалла (ромбический додекаэдр).

решётке. В.—З. я. *обратной решётки* кристалла представляет собой первую *Бриллюэна зону*.

Лит.: Киттель Ч., Введение в физику твердого тела, пер. с англ., М., 1978; Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твердого тела, пер. с англ., т. 1, М., 1979.

А. Э. Мейерович.

**ВИГНЕРОВСКИЙ КРИСТАЛЛ** — упорядоченное состояние электронов, находящихся в поле («желе») положительного, равномерно распределённого заряда. В. к. образуется при низких тем-рах  $T$ , если ср. расстояние между электронами значительно больше, чем *Бора радиус*  $a_B = \hbar^2 / me^2$ , т. е.  $na_B^3 \ll 1$ , где  $n$  — концентрация электронов,  $m$  — их масса,  $e$  — заряд. Ю. Вигнер (E. Wigner, 1934) показал, что миним. энергии при  $na_B^3 \ll 1$  обладает состояние, в к-ром электроны локализованы и совершают малые колебания вблизи положений равновесия — узлов вигнеровской решётки. Минимум энергии обеспечивается уменьшением энергии кулоновского отталкивания электронов при образовании ими решётки. Кинетич. энергия электронов (равная при  $T=0$  К энергии их нулевых колебаний вблизи положения равновесия) меньше потенциальной энергии на фактор  $(na_B^3)^{1/3} \ll 1$ .

При увеличении плотности электронов потенц. и кинетич. энергии становятся сравнимыми, и при  $na_B^3 \approx 1$  устойчивым состоянием является не кристалл, а однородная «электронная жидкость». «Плавление» В. к. происходит также при повышении тем-ры. В. к. обладает обычными свойствами кристаллич. тел; в нём, в частности, отличен от 0 модуль сдвига и возможно распространение сдвиговых волн.

Энергия В. к. не изменяется при смещении всей электронной решётки относительно однородного положит. фона. Поэтому во внеш. электр. поле  $E$  решётка электронов движется как целое относительно фона. Такой механизм электропроводности, наз. *фрелиховской проводимостью*, характерен для всех структур, в к-рых образуются *волны зарядовой плотности*, частным случаем к-рых является В. к.

Если положит. фон не является однородным, то происходит «зацепление» (пиннинг) электронной решётки за неоднородности и фрелиховская проводимость возможна лишь, если электр. поле  $E$  превосходит критич. поле  $E_{кр}$ , к-рое зависит от энергии зацепления.

Если положит. фон обладает периодичностью, то в решётке В. к. возникает периодич. модуляция плотности электронов. В зависимости от того, выражается ли отношение периодов электронной решётки и фона рациональным числом или иррациональным, возникает *соизмеримая* или *несоизмеримая* структура. Равновесным

состояниям соответствуют минимумы энергии, разделённые потенц. барьерами.

Реализация В. к. в трёхмерных твёрдых телах затруднительна из-за наличия примесей, компенсирующих объёмный заряд электронов. Иначе обстоит дело

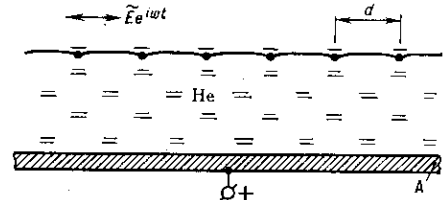


Рис. 1. Схема эксперимента по наблюдению вигнеровского кристалла для электронов над поверхностью жидкого He.

в двумерных системах, в структурах металл — диэлектрик — полупроводник (*МДП-структурах*), для электронов над поверхностью жидкого гелия и в др. системах, где положит. и отрицат. заряды разнесены в пространстве на расстояние, значительно превышающее ср. расстояние  $d$  между зарядами каждого слоя (рис. 1). Этим обеспечивается однородность фона.

Экспериментально В. к. наблюдался впервые Граймсом (C. Grimes) и Адамсом (G. Adams) (США) для электронов над жидким He. Электр. поле, создаваемое электродом А, несущим положит. заряд плотностью  $q$ , удерживает над поверхностью He электроны, плотность к-рых  $n \leq q/|e|$ . При низких тем-рах электроны располагаются в узлах треугольной решётки с периодом  $d = 2^{1/2} 3^{-1/4} n^{-1/2} \geq 2 \cdot 10^{-5}$  см, что во много раз меньше толщины слоя He  $\sim 1$  мм. Из-за небольшой деформации поверхности под каждым электроном при их движении в касательном переменном эл.-магн. поле возбуждаются капиллярные волны частотой  $\omega$ . Возникновение упорядоченного состояния приводит к резонансному поглощению эл.-магн. излучения на частотах, при к-рых длины капиллярных волн кратны периоду вигнеровской решётки (рис. 2).

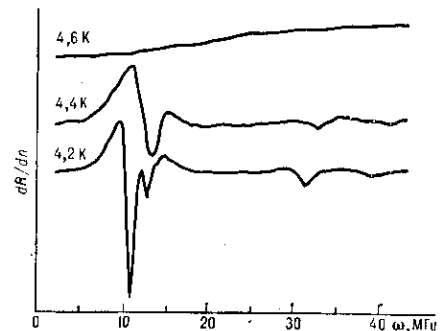


Рис. 2. Резонансное поглощение  $R$  электромагнитных волн из-за образования вигнеровского кристалла.

наansomu поглощению эл.-магн. излучения на частотах, при к-рых длины капиллярных волн кратны периоду вигнеровской решётки (рис. 2).

«Холодное» плавление В. к. в этой системе несуществимо, т. к. при повышении плотности электронов заряд. поверхность He становится неустойчивой. Плавление двумерного В. к. при повышении тем-ры является примером *топологического фазового перехода*. Он происходит из-за того, что при высоких тем-рах становится выгодным образование *дислокаций* в электронной решётке, что приводит к её разрушению. Такой механизм плавления подтверждается как моделированием на ЭВМ, так и экспериментально измеренными значениями тем-ры плавления и зависимости поперечной жёсткости от тем-ры.

В др. двумерных системах, напр. МДП-структурах, *гетеропереходах*, однозначного доказательства существования В. к. пока не получено (см. *Инверсионный*