

*Версия в существующем
виде*

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Сектор физико-технических горных проблем
им. О.Ю.Шмидта
Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта

Лопатин
12/III-45

СТРОЕНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

Москва
1974

СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ И АНИЗОТРОПИЯ ПОЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Как известно, кристаллы состоят из атомов, а те в свою очередь, из ядер и электронов. В состав ядер входят нуклоны (протоны и нейтроны). Таким образом в конечном счете, кристаллы состоят из элементарных частиц. Поэтому свойства кристаллов неизбежно должны быть связаны со свойствами элементарных частиц.

Согласно Теории Фундаментального Поля (ТФП) И.Л. Герловича /1/ каждая Элементарная Частица (ЭЧ) только в макромире наблюдается в виде точечной бесструктурной частицы. При взаимодействии между собой ЭЧ ведут себя так, как если бы они состояли из двух концентрических колец с радиусами R_1 и R_2 , на которых расположены заряды фундаментального поля q_1 и q_2 разных знаков. Размерность этих зарядов та же самая, что и у электрических зарядов, а разность $q_1 - q_2 = e$, т.е. равна обычному элементарному электрическому заряду. Концентрические токовые кольца являются дискретными. Они состоят из n_1 и n_2 субчастиц, вращающихся в общей плоскости в одну и ту же сторону с ультрарелятивистскими скоростями β_1 и β_2 (в долях скорости света c). Параметры каждой ЭЧ в ТФП рассчитаны исходя из особенностей связи пространства с временем и веществом и с учетом условий неизлучения, т.е. полного гашения излучения одного токового кольца излучением второго. Субчастицы обоих токовых колец с учетом их взаимного влияния приобретают электромагнитные массы разных знаков. Обычная масса представляется собой разность этих электромагнитных масс и всегда положительна. Все параметры ЭЧ рассчитаны в ТФП полностью. Они весьма точно совпадают с экспериментальными значениями.

При ультрарелятивистских скоростях β_1 и β_2 пол каждой субчастицы из сферически симметричного превращается

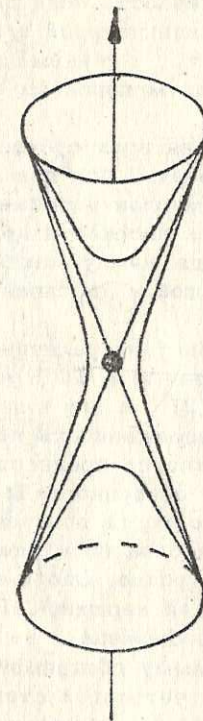


Рис. 1. Напряженность поля ЭЧ

шается в осесимметричное относительно мгновенной скорости движения субчастицы. Угловое распределение напряженности такого поля в пространстве становится резко анизотропным. Напряженность поля достигает максимума в плоскости, перпендикулярной к мгновенной скорости субчастиц β_1 и β_2 . Минимальная напряженность поля имеет место вдоль мгновенных скоростей движения субчастиц.

Максимальные поля всех субчастиц пересекаются между собой на мгновенной оси вращения ЭЧ. Поэтому на данной оси суммарная напряженность поля получается максимальной, а в плоскости вращения частиц — минимальной. Разница между максимумом и минимумом получается очень большой и достигает нескольких порядков.

Каждая ЭЧ, вследствие релятивистских эффектов прецессирует. Вычисленные в ТФП углы прецессии растут для протона $17^{\circ}27'$, а для электрона — $22^{\circ}18'$. Для прецессирующей ЭЧ напряженность поля достигает максимума на поверхности конуса прецессии (конуса анизотропии), а на его оси и в особенности в перпендикулярной ей экваториальной плоскости получается минимальной. Таким образом, электрическое поле каждой прецессирующей ЭЧ также резко анизотропно. Оно имеет симметрию двух соосных конусов с общей вершиной. Полярная диаграмма напряженности поля изображена на рис. 1. Для того, чтобы сделать эту диаграмму обозримой, по ее радиусам пришлось отложить корни четвертой степени из напряженности поля вместо первой его степени.

Поле прецессирующей ЭЧ импульсное. Оно достигает максимума один раз за каждый оборот прецессии. Максимум этот очень резкий. После него напряженность поля весьма быстро уменьшается почти что до нуля.

Две ЭЧ слабее всего взаимодействуют одна с другой, если у них совпадают оси прецессии или экваториальные плоскости, т.е. тогда, когда каждая из них попадает в область минимальной напряженности поля другой частицы.

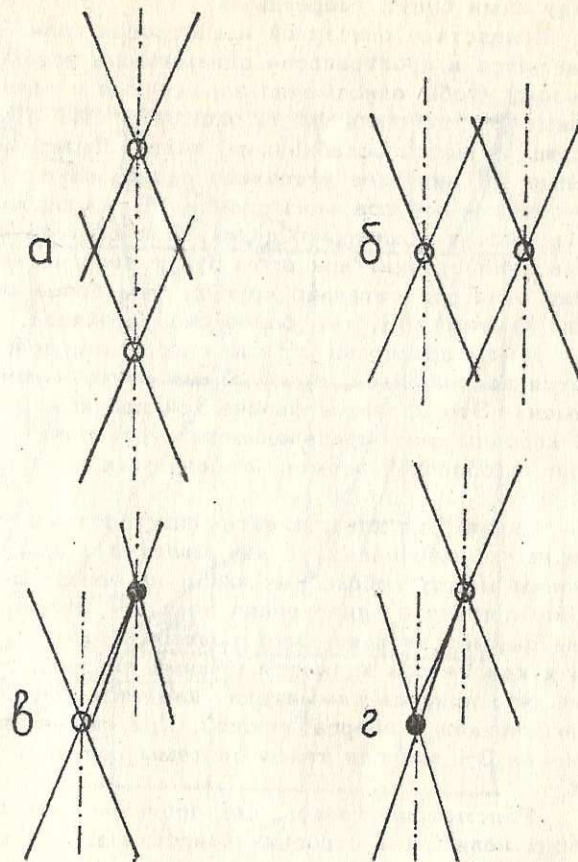


Рис. 2. Положения экстремальных взаимодействий ЭЧ (рис. 2, а и б).

Взаимодействие достигает максимума, когда одна ЭЧ попадает на конус анизотропии другой (рис. 2 в, г). При промежуточных положениях ЭЧ и направлении их осей прецессии под углом одна к другой силы взаимодействия

между ними будут умеренными.

Вследствие описанной анизотропии поля ЭЧ они располагаются в пространстве динамически устойчиво таким образом, чтобы одноименно заряженные и близко расположенные ЭЧ попадали бы на элементы симметрии соседних частиц (в места ослабленного поля). Разноименно заряженные ЭЧ наиболее устойчиво располагаются в местах пересечения конусов анизотропии ЭЧ противоположного знака (в местах усиленного поля). Оси конусов прецессии (конусов анизотропии) при этом будут направлены симметрично одни относительно других. Чем более симметрична такая система ЭЧ, тем более она устойчива.

Из-за прецессии ЭЧ силы их взаимодействия не остаются постоянными, а все время резко колеблются во времени. Это является физической причиной статистической картины и неопределенности в строении ядер и электронных оболочек атомов, отмечаемых квантовой механикой.

Симметрия ядер, электронных оболочек атомов, симметрия образованных из них молекул и кристаллов тесно связаны между собою, так как в их основе лежит одна и та же причина — анизотропия поля ЭЧ. Именно поэтому конусы симметрии ядер, электронных оболочек атомов, молекул и кристаллов являются общими для них. Можно сказать, что природа симметрии является не геометрической, а физической — энергетической. При симметричном расположении ЭЧ энергия такой системы получается минимальной.

Рассмотрим теперь, как проявляется влияние анизотропии поля ЭЧ в строении кристаллов. Для примера прежде всего возьмем наиболее распространенную для кристаллов элементов кубическую гранецентрированную решетку (плотнейшую кубическую упаковку). На рис. 3 в левом верхнем углу изображена одна элементарная ячейка этой решетки. В плоскости чертежа располагается одна из диагональных плоскостей такой элементарной ячейки.

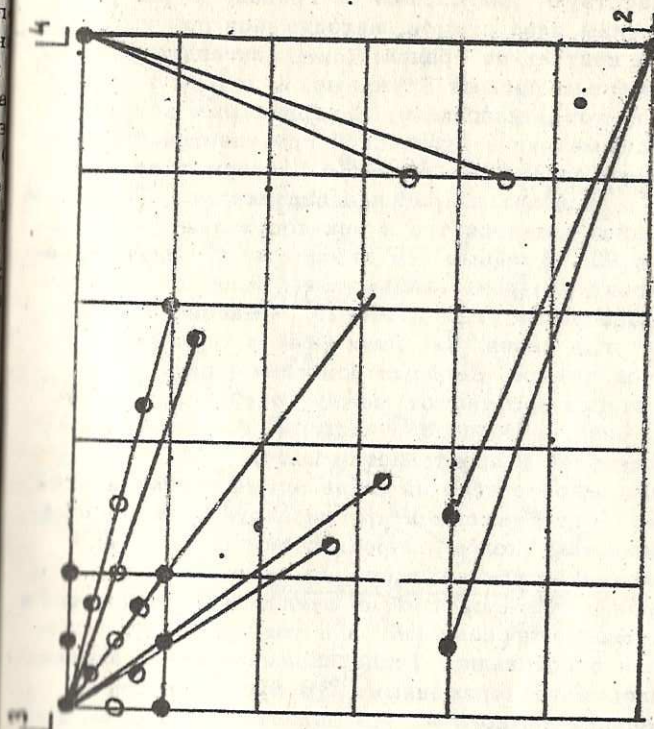


Рис. 3. Конусы анизотропии для плотнейшей кубической упаковки

Ребра ее направлены вертикально. Горизонтальные линии соответствуют диагоналям ее граней. Черными кружками указаны ядра атомов, находящиеся по углам ячейки и в центрах ее граней. Центры октаэдрических пустот помечены белыми кружками, а центры тетраэдрических пустот — наполовину зачерненными кружками.

Оси симметрии в кубической гранецентрированной решетке идут следующим образом: четверные оси симметрии L^4 проходят на рисунке вертикально. Таких осей в пространстве имеется три и они составляют между собой углы в 90° . Тройные оси симметрии L^3 идут на рисунке диагонально. Они составляют каждая с другими тетраэдрические углы в $109^\circ 28'$. Тангенс половины такого угла равен $\sqrt{2}$. Этих осей в пространстве имеется четыре. Двойные оси симметрии L^2 в кубической ячейке составляют между собой углы в 60° и 90° . На рисунке такие оси проходят горизонтально. Всего таких осей в пространстве шесть.

Кроме одной описанной выше элементарной ячейки, на рис. 3 изображены и другие окружающие ее ячейки, но с меньшим числом подробностей их строения.

Естественно предположить, что оси симметрии и ядра атомов и составляющих их нуклонов расположатся в пространстве не произвольно, а в тех же направлениях, что и в кристалле. Тогда взаимное отталкивание между одноименно заряженными ЭЧ будет минимальным.

В сечении каждого конуса анизотропии плоскостью чертежа мы получим две прямые линии, проходящие через центр ядра, которые представляют собой образующие конусов анизотропии и должны составлять с осями симметрии кристалла указанные выше углы, вычисленные И.Л. Герловиным в ТФП.

Проводя на рис. 3 из каждого узла кристаллической решетки и из центров октаэдрических и тетраэдрических пустот прямые линии под этими углами к осям симметрии кристалла, не трудно заметить, что они про-

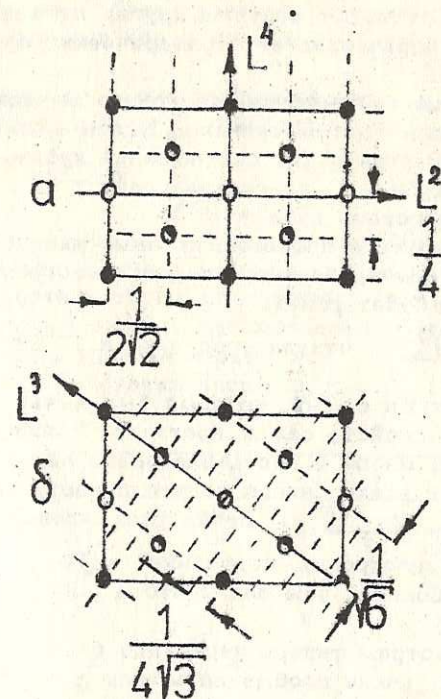


Рис. 4. Расстояния между узловыми линиями для плотнейшей кубической упаковки

ходят также через ряд характерных точек ближних и дальних ячеек, окружающих рассматриваемую ячейку. Эти точки соответствуют центрам других атомов или же центрам октаэдрических и тетраэдрических пустот между атомами.

Отметив такие точки, не трудно вычислить тригонометрическим путем тангенсы углов анизотропии, исходя из геометрических соотношений кубической ячейки (ребро куба = 1, диагональ грани = $\sqrt{2}$ и пространственная диагональ куба = $\sqrt{3}$).

В результате проведенных нами расчетов было найдено, что для протонного конуса анизотропии тангенс этого угла будет равен:

$$\text{tg } \gamma = \frac{2\sqrt{2}}{9}, \text{ откуда угол } \gamma = 17^{\circ}28', \text{ т.е. прак-}$$

тически тот же самый, который был вычислен в ТФП, исходя из свойств самих протонов. Разница оказалась весьма малой и составила всего лишь 1 угловую минуту. Для электронного конуса анизотропии мы получили: $\text{tg } \gamma = \frac{2\sqrt{2}}{7}$. Здесь расхождение с величиной угла анизотропии, полученной в ТФП, оказалось несколько больше, чем для протона, но также не велико.

Рассмотрим теперь несколько более подробно вопрос о том, какие вообще возможны углы конусов, проходящих через узловые точки кристаллической решетки. Будем это делать также на примере кубической плотнейшей упаковки.

На рис. 4, а изображена одна такая элементарная ячейка. Проведем на этом чертеже через характерные точки ячейки вертикальные и горизонтальные прямые линии. Минимальные расстояния между вертикальными рядами этих точек равны $\frac{1}{2\sqrt{2}}$, а между горизонтальными рядами $\frac{1}{4}$.

тангенс угла между любыми направлениями через узлы решетки в кристалле и вертикальными четверными осями симметрии L^4 будет равен отношению целого числа m минимальных горизонтальных расстояний $\frac{1}{2\sqrt{2}}$

целому числу n минимальных вертикальных расстояний между рядами $\frac{1}{4}$. Следовательно, в данном

$$\text{лучае } \text{tg } \gamma = \frac{m}{n} \sqrt{2}.$$

Проверка возможных сочетаний величин m и n показала, что для рассматриваемой кристаллической решетки они соответствуют следующим значениям, сгруппированным в табл. 1. Возможные сочетания этих значений отмечены в таблице знаком х.

Возможные сочетания чисел m и n . Таблица 1

$n \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	х		х		х		х		х		х	
2		х		х		х		х		х		х
3	х		х		х		х		х		х	
4		х		х		х		х		х		х
5	х		х		х		х		х		х	
6		х		х		х		х		х		х
7	х		х		х		х		х		х	
8		х		х		х		х		х		х
9	х		х		х		х		х		х	
10		х		х		х		х		х		х

Тангенсы углов направлений между любыми точками кристаллической решетки и горизонтальными двойными осями симметрии определяются отношением целого числа вертикальных минимальных расстояний между рядами к целому числу горизонтальных расстояний между рядами, т.е. $\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n} \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Возможные сочетания значений величин m и n описываются той же таблицей № 1, что и в предыдущем случае.

Таким образом, как для углов с четверными, так и с двойными осями симметрии числа m и n должны быть одинаковой четности, либо оба четные или оба нечетные. При этом не имеет значения, куда идет образующая конуса анизотропии — вправо или влево, вверх или вниз.

Несколько иное положение получается для тройных осей симметрии L^3 , которые на чертеже идут диагонально (рис. 4, б). Для этих осей тангенсы углов будут равны отношению целого числа m отрезков

идущих перпендикулярно к оси L^3 к целому числу n минимальных расстояний между рядами точек вдоль этой оси $\frac{1}{4\sqrt{3}}$, откуда: $\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n} 2 \sqrt{2}$.

Возможные сочетания чисел m и n для образующих конусов, идущих на рис. 4 г выше оси, даны в таблице 2, а ниже оси L^3 приведены в табл. 3.

Возможные сочетания чисел m и n для верхней линии.

Таблица 2

$\begin{matrix} m \\ n \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x			x			x	

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	x			x			x	
		x			x			x
x			x			x		
	x			x			x	
		x			x			x
			x			x		

Возможные сочетания чисел m и n для нижней линии

Таблица 3

$\begin{matrix} m \\ n \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	x				x			x	
x				x			x		
		x				x			x
	x				x			x	
x			x				x		
		x				x			x
	x				x			x	
x			x				x		

Как видим, в табл. 2 возможные сочетания чисел

m и n образуют диагональные ряды, идущие слева направо и сверху вниз, а в табл. 3 – идущие слева направо и снизу вверх.

Обобщая изложенное, получим, что все возможные тангенсы углов между направлениями через узловые точки кристалла и осями его симметрии описываются следующими формулами:

Оси симметрии:

Четверная L^4

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n} \sqrt{2}$$

Тройная L^3

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n} 2 \sqrt{2}$$

Двойная L^2

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Очевидно, что все эти три формулы можно объединить в одну; пригодную для любой оси симметрии:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n} 2 \sqrt{2} \quad (1)$$

Однако при этом для четверных и двойных осей симметрии придется брать только четные значения чисел m или n . Таблицы же 2 и 3 останутся без изменения.

На рис. 3 видно, что минимальный угол между осями симметрии кристалла имеет место между двойной и тройной осями. Его тангенс равняется $\operatorname{tg} \gamma = \frac{1}{\sqrt{2}}$

Можно высказать вероятное предположение о том, что при этом конусы анизотропии, направленные по этим осям, коснутся один другого по образующей. Тогда одни и те же узлы кристаллической решетки попадут одновременно на оба конуса анизотропии и устойчивость решетки повысится.

В этом случае тангенс угла анизотропии равен половине угла между тройной и двойной осями симметрии.

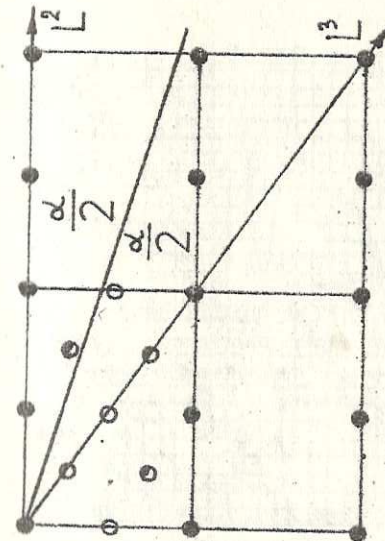


Рис. 5. Схема соприкасающихся конусов анизотропии для плотнейшей кубической упаковки

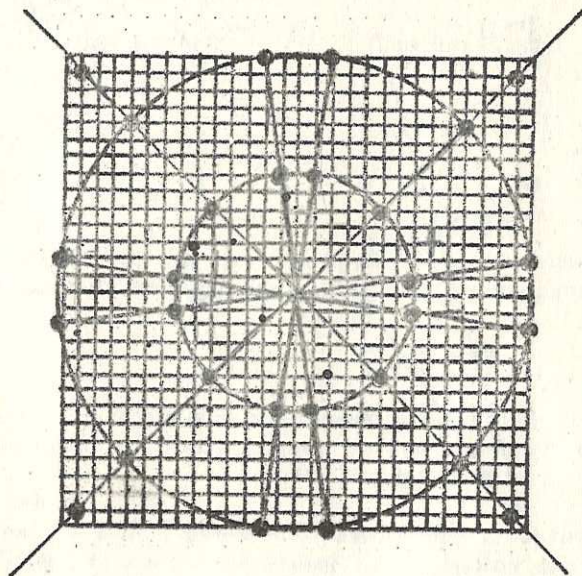


Рис. 6. Схема слоя, перпендикулярного к L^4 , для плотнейшей кубической упаковки

и, откуда:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha}.$$

После ряда преобразований получим (рис. 5):

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{1}{\sqrt{3} + \sqrt{2}} = \sqrt{3} - \sqrt{2}.$$

Численный расчет показывает, что это значение тангенса угла только на 0,1 % превышает ранее найденное значение: $\operatorname{tg} \gamma = \frac{2\sqrt{2}}{9}$ для протонного конуса анизотропии.

Все предыдущие рассуждения относились к построениям только в плоскости чертежа, где лежат оси симметрии. Но кристалл представляет собой пространственную решетку, поэтому нам нужно проанализировать также и расположение узловых точек в плоскостях, перпендикулярных к осям симметрии кристалла.

На рис. 6, а показан слой, перпендикулярный к четверной оси симметрии кристалла. Оси координат на нем направлены по диагоналям граней кубической ячейки. Начало координат размещено в центре одного из узлов. Тогда расстояние от него до любого другого узла в этой плоскости в единицах кратчайшего расстояния между ними будет равно:

$$r = \sqrt{p^2 + q^2}.$$

Очевидно, что узлы решетки, расположенные на одном и том же расстоянии от оси, попадут на один конус анизотропии, что повысит прочность кристаллической решетки. Для этого необходимо, чтобы числа p и q были целыми. Тогда они должны образовывать тройки "Пифагоровых чисел", которые описываются следующими уравнениями:

$$p = 2ab,$$

$$q = a^2 - b^2,$$

$$r = a^2 + b^2,$$

где a и b любые взаимно простые между собою целые числа разной четности.

Из рис. 6 видно, что на одну и ту же окружность попадает не менее четырех узлов решетки. Однако для ряда окружностей число таких узлов резко возрастает. Номера окружностей и кратность атомов в них получаются следующими:

№№ окружностей:	Кратность атомов: на окружностях	на конусах
5	12	-
10	12	12
13	12	-
15	12	-
17	12	-
20	12	12
25	20	-
26	12	12

и т.д.

Таким образом, не каждая окружность, на которую попадает несколько узлов решетки, оказывается на поверхности конуса анизотропии.

Сопоставляя с рис. 3, заметим, что вдоль четверных осей симметрии конусы анизотропии встречаются узлы решетки только через четное число кратчайших межатомных расстояний. Поэтому из числа указанных ранее заселенных окружностей на конусы анизотропии попадут только окружности, указанные в последнем столбце таблицы.

Конусы, выходящие из центров атомов, вообще не проходят через центры тетраэдрических пустот, окру-

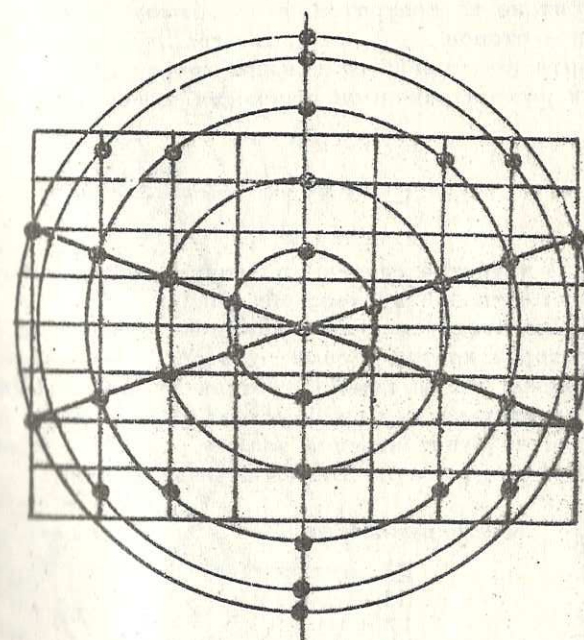


Рис. 7. Схема слоя, перпендикулярного к L^2 , для плотнейшей кубической упаковки

ющих четверные оси симметрии. Через них проходят только конусы, выходящие из центров таких же пустот.

На рис. 7 изображена схема слоя, перпендикулярного к двойной оси симметрии кристалла. Отличие этого сечения от предыдущего заключается в том, что оно состоит не из квадратов, а из прямоугольников с отношением сторон $\sqrt{2} : 1$. В этих условиях формула расчета расстояний от оси симметрии до любой узловой точки рассматриваемой плоскости принимает следующий вид:

$$r = \frac{\sqrt{2p^2 + q^2}}{4}$$

В качестве единицы в данном случае служит ребро элементарной кубической ячейки.

Для этого сечения на каждой окружности, радиус которой кратен параметру ячейки, расположатся два атома. Но на каждой третьей такой окружности будет находиться уже по 6 атомов. Кроме того, ряд окружностей будет населен узлами решетки дополнительно. При этом получается следующая картина:

№№ окружностей :	Кратность атомов
9	10
11	6
17	6
18	10
19	6
22	6
27	10
32	10
34	6
36	10
38	6

и т.д.

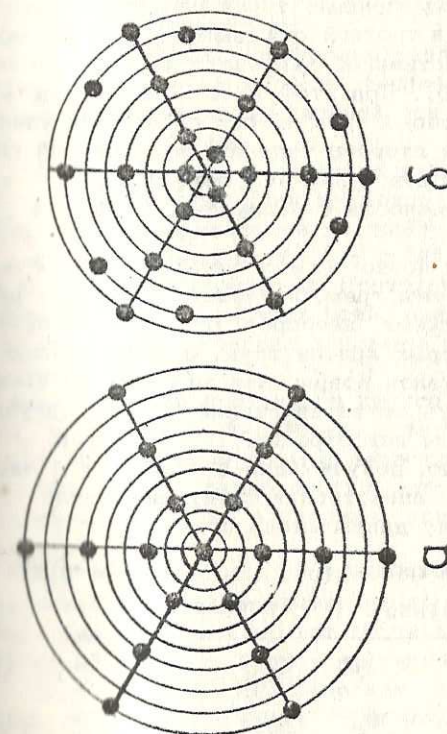


Рис. 8. Схема слоев, перпендикулярных к L^3 , для плотнейшей кубической упаковки

Однако вдоль осей конусов анизотропии расстояния между узлами изменяются таким образом, что на эти конусы попадают только узлы с кратностью 2. Поэтому конусы анизотропии вдоль двойных осей симметрии получают слабые заселенными.

Проводя через узловы точки решетки плоскости перпендикулярные к тройной оси симметрии, заметим, на длине пространственной диагонали куба их помещается 12 (рис. 4, б). При этом их можно разделить на два типа. Для первого типа на оси симметрии узел решетки есть, а для второго типа его нет. Второй случай встречается вдвое чаще, чем первый (рис. 8, а и б).

Проводя окружности с радиусами, кратными $\frac{1}{\sqrt{6}}$, заметим, что для первой схемы на все окружности, радиуса которых кратны трем, попадает по 6 узлов решетки. При второй схеме, наоборот, отсутствуют окружности, номер которых кратен трем, а на остальных окружностях число узлов возрастает до 9. Но на 21-ой окружности кратность остается равной 6. Все эти узлы попадают на конусы анизотропии.

Сводя все воедино, получим для относительной заселенности конусов анизотропии следующее число узлов решетки на единицу длины вдоль оси:

Конусы анизотропии :	Оси симметрии :		
	Двойная L^2	Тройная L^3	Четверная L^4
Электронный	$\frac{2\sqrt{2}}{7} \approx 0,40$	$\frac{128\sqrt{3}}{49} \approx 4,57$	$\frac{56}{35} \approx 1,60$
Протонный	$\frac{2\sqrt{2}}{9} \approx 0,32$	$\frac{128\sqrt{3}}{27} \approx 2,77$	$\frac{56}{45} \approx 1,24$
Межузловое расстояние	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,71$	$\frac{\sqrt{3}}{4} \approx 0,33$	$\frac{1}{2} \approx 0,50$

Анализируя полученные результаты, заметим, что

1. Сильнее всего заселены узлами решетки конусы анизотропии, ориентированные по тройной оси симметрии, а слабее всего — по двойной оси симметрии. Разница достигает почти семнадцати раз.

2. Электронные конусы анизотропии заселены сильнее, чем протонные в $9/7 = 1,28$ раз по двойной и в $81/49 = 1,65$ раз — по тройной осям симметрии.

3. Межузловые расстояния вдоль осей симметрии получаются минимальными по тройной оси симметрии и максимальными вдоль двойной оси. Разница достигает $\sqrt{8/3} = 1,63$ раз.

Таким образом, в строении кубических плотнейших кристаллов основную роль играют электронные конусы анизотропии, направленные по тройным осям симметрии.

4. Угол между двойной и тройной осями симметрии является минимальным. Протонные конусы анизотропии, идущие вдоль этих осей, практически касаются один другого. Тангенс половины угла между этими осями, равный $\tan \gamma = \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}$, отличается от тангенса угла протонного конуса анизотропии, равного $\tan \gamma = \frac{1}{2\sqrt{2}}$, не более чем на 0,1%.

5. Электронные конусы анизотропии заселены узлами решетки настолько плотно, что ближайшие от вершины узлы находятся в пределах одной и той же элементарной ячейки.

Как известно, для плотнейшей кубической упаковки число атомов в элементарной ячейке равно $Z = 4$, число октаэдрических пустот составляет также 4, а число тетраэдрических пустот достигает 8.

Другие варианты кубических упаковок можно получить из описанной выше, если рассматривать плотнейшую упаковку только как одну из подрешеток, и комбинировать эти подрешетки между собой.

Беря две одинаковые подрешетки, разместим каждую из них в октаэдрических пустотах другой. При этом

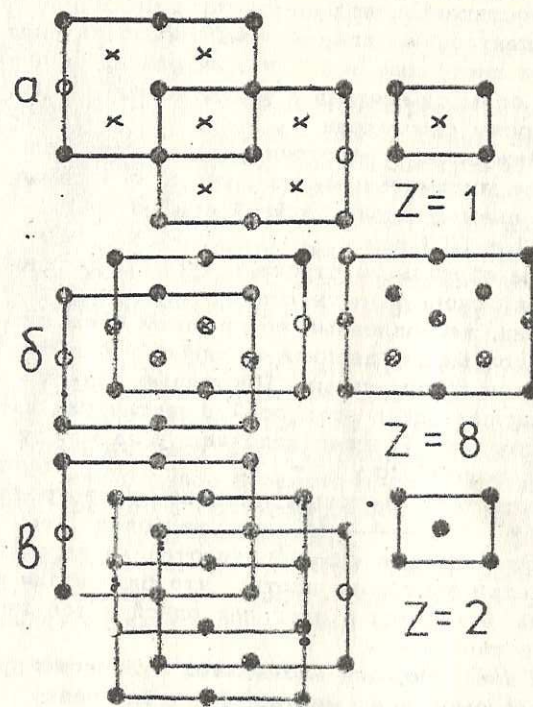


Рис. 9. Схемы кристаллических ячеек, скомбинированных из нескольких кубических подрешеток

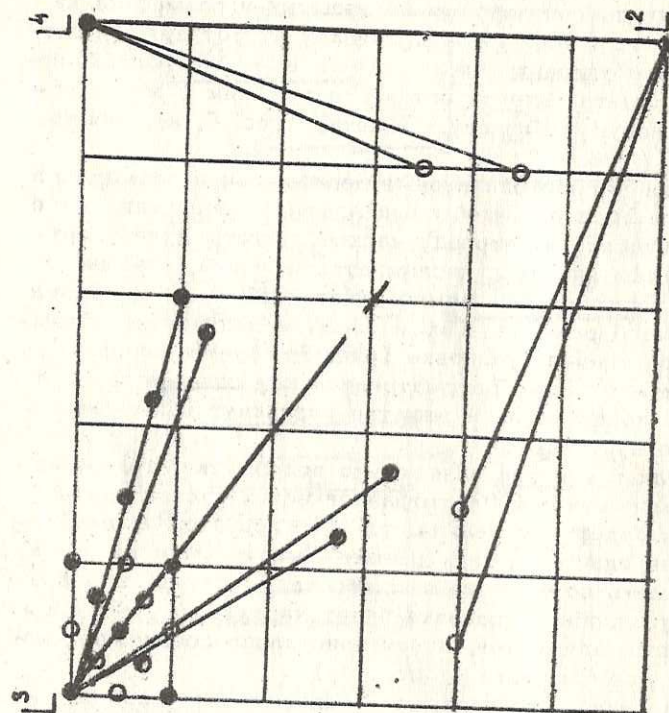
количество атомов в ячейке удвоится и станет равным $Z = 8$. Но при этом получится, что в пределах такой ячейки разместятся восемь одинаковых ячеек половинного размера. Следовательно, мы получим примитивную кубическую решетку (рис. 9, а), для которой $Z = 1$.

Взяв две одинаковые подрешетки и разместив каждую из них в 50% тетраэдрических пустот другой, снова получим удвоение числа атомов в ячейке. Однако при этом параметр ячейки останется прежним и мы получим алмазную кубическую решетку (рис. 9, а), для которой $Z = 8$.

Взяв четыре одинаковые подрешетки и разместив их таким образом, чтобы они взаимно заполняли все октаэдрические и тетраэдрические пустоты друг у друга, получим ячейку с числом атомов в ней, равным 16. Однако такую ячейку можно будет разбить на 8 ячеек половинного размера. Таким образом получается объемно-центрированная упаковка (рис. 9, в), для которой $Z = 2$. Ее можно также рассматривать как вдвоенную алмазную упаковку. В этой решетке возникнут новые межатомные пустоты.

Если взять три одинаковые подрешетки, то две из них разместить в 100% тетраэдрических пустот третьей решетки будет уже нельзя, так как при этом атомы окажутся не одного, а двух разных сортов. Одни из них будут иметь по 4 ближайших соседа, а другие по 8. Поэтому подобная упаковка будет характерна не для кристаллов элементов, а для кристаллов соединений, например, для флюорита (CaF_2).

Очевидно, что взаимное расположение узлов решетки: центров атомов, центров октаэдрических и тетраэдрических пустот будет для всех рассмотренных решеток аналогичным и потому все соображения о заселенности конусов анизотропии узлами решеток останутся теми же самыми. Так, например, на рис. 10 показаны конусы анизотропии для объемно-центрированной кубической решетки. Сравнивая рис. 10 и рис. 3, заме-



тим, что расположение конусов анизотропии оста-
лось прежним, но некоторые атомы и пустоты как бы
поменялись местами.

На рис. 11 показана также весьма распространен-
ная для элементов плотнейшая гексагональная упак-
вка. В верхнем левом углу чертежа отмечена одна ее
элементарная ячейка. По-прежнему центры атомов обо-
значены черными кружками, центр октаэдрических пу-
стот — белыми кружками, а центры тетраэдрических пу-
стот — наполовину зачерненными кружками. На рисунке
тройные оси симметрии проходят вертикально, а двой-
ные оси горизонтально. Три таких оси лежат в одной
плоскости, перпендикулярной к тройной оси симмет-
рии, и составляют между собой углы в 120° .

Принимая ребро ячейки за единицу, получим, что
размер ячейки на чертеже по горизонтали равен $\sqrt{3}$,
а по вертикали $\sqrt{8/3}$. Минимальные расстояния ме-
жду узлами решетки по горизонтали на чертеже равны
 $\frac{1}{\sqrt{3}}$. Они расположатся в три слоя. По вертика-

ли узлы решетки образуют восемь слоев и минимальные
расстояния между ними окажутся $\frac{1}{2\sqrt{6}}$.

Тангенсы углов между линиями, соединяющими и
любые точки разных ячеек в плоскости чертежа и двой-
ными осями симметрии, получатся: $\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n 2\sqrt{2}}$,

а для тройных осей симметрии они окажутся: $\operatorname{tg} \gamma = \frac{m}{n 2\sqrt{2}}$, где m и n — целые числа.

Как видим, для плотнейшей гексагональной упак-
овки мы получили выражения, аналогичные выражению (1)
для плотнейшей кубической упаковки.

Не трудно заметить, что конусы анизотропии во-
круг тройных осей симметрии проходят через близкие
узлы решетки (рис. 11). Сечения решетки, перпендику-
лярные к тройной оси симметрии, имеют вид, анало-
гичный кубической плотнейшей упаковке (рис. 8, а и б).

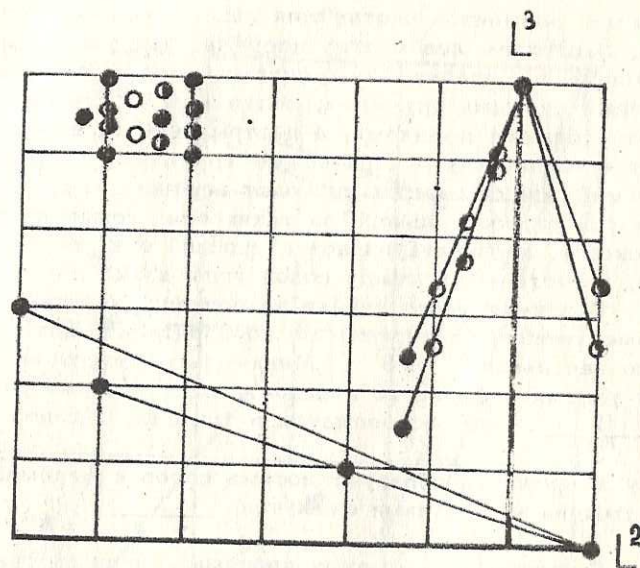


Рис. 11. Конусы анизотропии для плотнейшей гексагональной упаковки

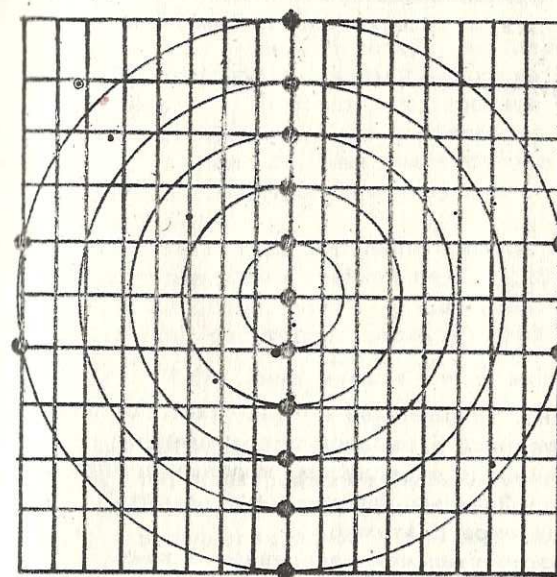


Рис. 12. Схема слоя, перпендикулярного к L^2 , для плотнейшей гексагональной упаковки

В них также существуют слои с узлом решетки на тройной оси симметрии и без такого узла. Последние случаи встречаются вдвое чаще, чем первые.

В начальной своей части эти конусы анизотропии заселены узлами решетки следующим образом:

№№ окружностей :	Кратность узлов :
1	3
2	3
3	6
4	3
5	-
6	-
7	9
и т.д.	

На рис. 12 показано сечение решетки плоскостью, перпендикулярной к двойной оси симметрии. Здесь на каждую окружность с радиусом, кратным высоте ячейки, попадет по 2 атома. Кроме того, на пятой окружности оказывается 6 атомов.

Для относительной заселенности конусов анизотропии узлами решетки получаем следующие данные:

Конусы анизотропии:	Оси симметрии:	
	Двойная L^2	Тройная L^3
Электронный	$\frac{2}{5\sqrt{3}} \approx 0,23$	$\frac{15\sqrt{3}}{7\sqrt{2}} \approx 2,0$
Протонный	$\frac{14}{15\sqrt{3}} \approx 0,54$	$\frac{15\sqrt{3}}{9\sqrt{2}} \approx 2,0$

Межатомное расстояние

$$\sqrt{3} \approx 1,73; \sqrt{\frac{8}{3}} \approx 1,69$$

Сопоставляя эти данные с величинами для плотнейшей кубической упаковки, заметим следующее:

1. Снова конусы анизотропии для тройной оси симметрии заселены сильнее, чем для двойной оси, одна эта заселенность меньше, чем для плотнейшей кубической упаковки: для электронного конуса в 1,72 и для протонного в 1,34 раза.

2. Электронные конусы заселены узлами решетки сильнее, чем протонные для тройной оси в 1,28 раза, а для двойной оси, наоборот, слабее в 2,33 раза.

3. Межатомные расстояния вдоль тройной оси поучаются в $\sqrt{\frac{9}{8}} = 1,06$ раза меньше, чем вдоль двойной оси.

В строении плотнейшей гексагональной упаковки основную роль играют электронные конусы анизотропии вдоль тройной оси симметрии. Для них ближайшие от вершины узлы находятся в пределах одной и той же элементарной ячейки.

4. Для плотнейшей гексагональной упаковки тангенсы углов для протонного и электронного конусов анизотропии получились те же самые, что и для кубических упаковок.

Аналогичные построения были выполнены нами еще для ряда различных кристаллических решеток. При этом каждый раз получалось, что конусы анизотропии проходят через многие узловые точки этих кристаллических решеток.

Обобщая изложенное, можно сформулировать следующие особенности строения вещества:

1. Напряженность поля элементарных частиц обладает резкой анизотропией. Вследствие прецессии этих час-

тиц их поле приобретает осевую симметрию двух соосных конусов с общей вершиной. Максимальная напряженность поля имеет место на поверхности этих конусов, а минимальная — на их оси и на перпендикулярной к ней плоскости, проходящей через вершину конусов.

2. Элементарные частицы одинаковых знаков стремятся расположиться в местах минимальной напряженности поля одна к другой, т.е. как можно дальше от конусов анизотропии соседей, в частности на элементах симметрии. Элементарные частицы разных знаков, наоборот, стремятся расположиться в местах максимальной напряженности поля соседей, т.е. в зоне пересечения конусов анизотропии противоположного знака. Это неизбежно приводит к симметричному взаимному расположению элементарных частиц.

3. Анизотропия элементарных частиц является основной причиной симметричного строения вещества и определяет общность законов симметрии для атомных ядер, электронных оболочек атомов, молекул и кристаллов.

4. Вследствие очень сильной анизотропии поля ЭЧ в кристаллах ближайшие друг к другу атомы, но не находящиеся на конусах анизотропии, взаимодействуют между собой слабее, чем более удаленные атомы разных ячеек, но лежащие на конусах анизотропии.

5. Оказалось, что углы анизотропии, вычисленные в ТФП, получаются теми же самыми, что и углы между осями симметрии кристаллов и направлениями в узлах кристаллических решеток.

На основании изложенного можно сформулировать следующий Закон Структурообразования Кристаллов (ЗСК).

Строение кристаллов получается таким, чтобы частицы разных знаков располагались на пересечении конусов анизотропии с углами, тангенсы которых равны: для протонов $\text{tg } \gamma = \frac{2\sqrt{2}}{9}$ и для электронов: $\text{tg } \gamma = \frac{2\sqrt{2}}{7}$.

Это относится к средним положениям частиц относительно которых они колеблются.

В данной работе мы показали закон структурообразования

для кристаллов. Анализ симметрии и структурообразования для ядер, атомов и молекул будет предметом рассмотрения в других работах.

Мы весьма благодарны И.Л. Герловину за сотрудничество в разработке идеи структурообразования. При этом мы базировались на его Теории Фундаментального поля (ТФП).

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Л. Герловин. Основы единой релятивистской квантовой теории фундаментального поля (ТФП) ВИНТИ. № 7084 — 73 деп. М., 1973.