

Таким образом, энергия кристаллической решетки пропорциональна корню кубическому из отношения $\frac{D}{M}$, которое равно числу граммолекул в единице объема и может быть названо молекулярной концентрацией. В случае ионных кристаллов $\frac{D}{M}$ равно ионной концентрации.

Рассмотрим связь $\frac{D}{M}$ с другими величинами, характеризующими свойства кристалла.

Ряд авторов [2, 3] сопоставляет константы кристаллов с характеристической температурой $\Theta = \frac{h\nu}{\kappa}$, где h —постоянная Планка, κ —постоянная Больцмана, ν —частота колебания. Найдем связь Θ с отношением $\frac{D}{M}$.

Для расчета Θ ионного кристалла предлагается [2] формула:

$$\Theta = \frac{3 \cdot 10^3}{r} \sqrt{\frac{z \eta_1 \eta_2}{A}}, \quad \text{где } A \text{ — средний атомный вес.}$$

Согласно вышеизложенному, заменим r выражением $\sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi ND}}$.

$$\text{Получим: } \Theta = 3 \cdot 10^3 \sqrt[3]{\frac{4\pi N}{3}} \sqrt{\frac{z \eta_1 \eta_2}{A}} \sqrt[3]{\frac{D}{M}}.$$

$$\text{Обозначим } 3 \cdot 10^3 \sqrt[3]{\frac{4\pi N}{3}} = C_1.$$

$$\text{Тогда } \Theta = \frac{z \eta_1 \eta_2}{A} C_1 \sqrt[3]{\frac{D}{M}}.$$

Следовательно, характеристическая температура пропорциональна кубическому корню из молекулярной концентрации.

Полученные результаты позволяют перейти от сопоставления физических свойств кристаллов с энергией решетки или характеристической температурой к сопоставлению свойств с более простой физической величиной—концентрацией ионов и молекул в них. На зависимость механических свойств элементов от атомной концентрации указывал П. П. Лазарев [4]. Он рассчитал силу F , необходимую для того, чтобы вывести атом из его положения равновесия и перевести в соседнее положение $F = \pi N F(R)$, где N —концентрация атомов,

$F(R) = \int_0^R \varphi(r) r^2 dr$, причем $\varphi(r)$ —сила притяжения соседних атомов, зависящая от расстояния r и равная нулю при $r > R$; R —радиус сферы молекулярного действия.

П. П. Лазарев полагает, что $F(R)$ не зависит от природы тела. Тогда $F = \kappa N$, где $\kappa = N F(R)$ —константа. Автор считал, что F равна твердости тела, а потому твердость тела должна быть пропорциональной атомной концентрации элементов. Обработывая экс-

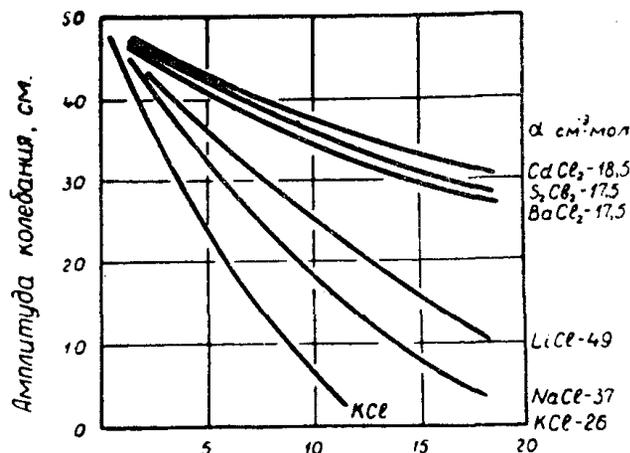
периментальные данные, П. П. Лазарев построил кривые твердость—атомный вес и атомная концентрация—атомный вес. Оказалось, что ход этих кривых примерно одинаковый. Это и дает автору право считать свои выводы правильными.

Необходимо заметить, что П. П. Лазарев давал слишком упрощенное определение твердости. Нельзя согласиться с утверждением П. П. Лазарева о том, что $F(R)$ и k не зависят от природы тела. Автор не проводил сопоставления свойств химических соединений и сплавов с концентрацией частиц.

Мы полагаем, что сравнение свойств кристаллов с концентрацией частиц можно проводить только для сходных ионных соединений типа AB , AC , AD и т. д.

Сопоставим механические свойства кристаллов с молекулярной концентрацией.

В. Д. Кузнецов и Е. В. Лаврентьева [5] определяли твердость кристаллов по способу затухающих колебаний. Результаты, полученные ими, приводятся на фиг. 1, на которой мы справа возле кривых



Фиг. 1. Кривые затухающих колебаний.

написали значения α . При методе затухающих колебаний за меру твердости выбирается амплитуда какого-либо колебания. Воспользовавшись фиг. 1, возьмем в качестве такой характеристики амплитуду десятого колебания и будем ее значения сопоставлять с величиной α . Полученные при этом значения занесем в таблицу 1.

Таблица 1

Связь твердости кристаллов, определенной по способу затухающих колебаний с молекулярной концентрацией α

Физическая величина	К р и с т а л л ы					
	KCl	NaCl	LiCl	BaCl ₂	SrCl ₂	CaCl ₂
Твердость	7	20	25	31	32	33
α см ⁻³ моль	26	37	49	12,5	17,5	18,5

Из табл. 1 и фиг. 1 видно, что твердость кристаллов H увеличивается с ростом α . Причем зависимость H от α для щелочно-галогенных

идных кристаллов и соединений второй группы химических элементов будет различной.

К. В. Савицкий [5] определял твердость щелочно-галогидных кристаллов по способу сверления. За меру твердости здесь выбирается диаметр лунки при определенной геометрии сверла и постоянном надавливающем грузе. Чем больше диаметр лунки d , тем меньше твердость кристаллов. Результаты опытов приводятся в таблице 2.

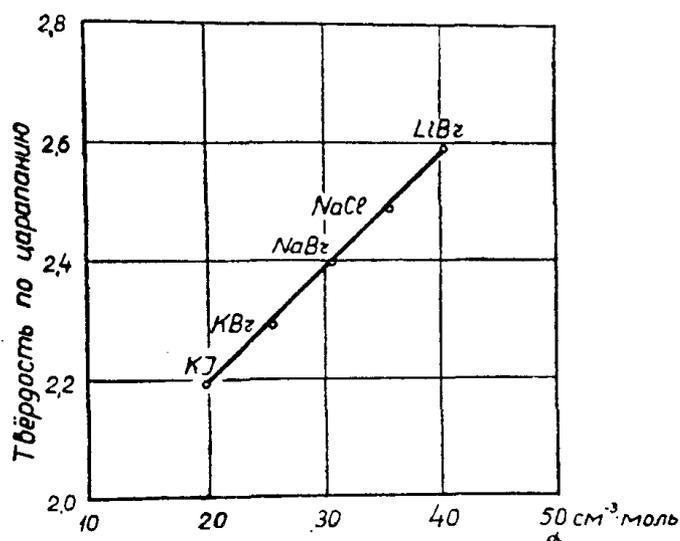
Таблица 2

Сопоставление твердости по сверлению с молекулярной концентрацией

Физическая величина	К р и с т а л л ы			
	KF	NaCl	KCl	KBr
Твердость	1,3	1,1	0,8	0,6
Молекулярная концентрация	41	37	26	22

Из табл. 2 видно, что твердость щелочно-галогидных кристаллов возрастает с увеличением молекулярной концентрации.

На фиг. 2 мы изображаем зависимость от α твердости по царапанию H . Последняя оказывается линейно связанной с молекулярной концентрацией.



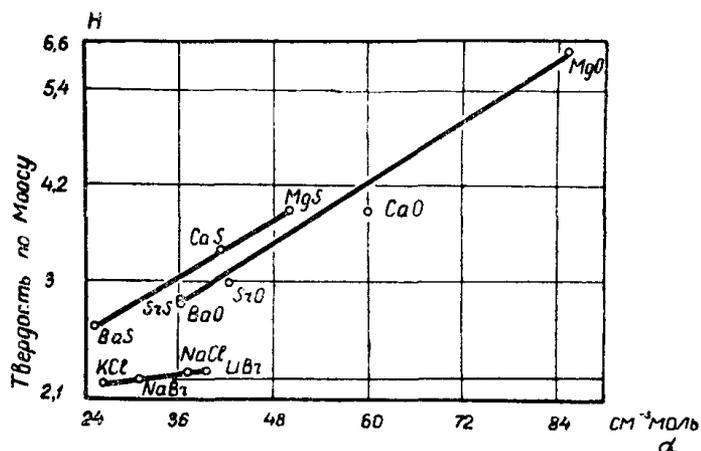
Фиг. 2. Зависимость твердости по царапанию от α

Гольдшмидт [6] пытался установить связь между твердостью кристаллов и их строением.

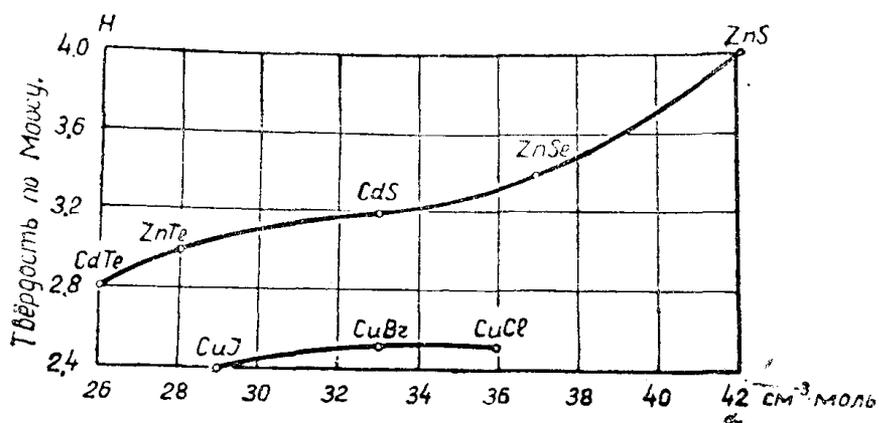
Мы воспользовались результатами его опытов для того, чтобы найти связь твердости по Моосу с молекулярной концентрацией. Полученные при этом зависимости приводятся на фиг. 3 и 4, из которых видно, что твердость по Моосу закономерно связана с молекулярной концентрацией. Можно также видеть, что прямые, относящиеся к соединениям элементов 2 группы таблицы Д. И. Менделеева, идут выше прямой, построенной для щелочно-галогидных солей. В случае двухвалентных соединений наблюдается более резкая зависимость твердости от молекулярной концентрации, чем в случае ще-

лочно-галоидных солей. Таким образом, при нахождении связи твердости с молекулярной концентрацией нужно учитывать влияние валентности.

Н. С. Курнаков [7] определял давление истечения некоторых щелочно-галоидных солей. Мы воспользовались данными Н. С. Кур-

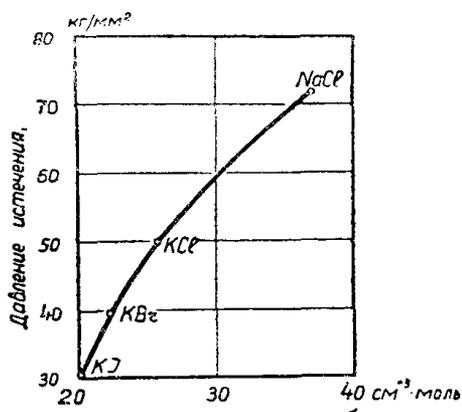


Фиг. 3. Зависимость твердости по Моосу от α



Фиг. 4. Зависимость твердости по Моосу от α .

накова для установления связи давления истечения с величиной α . Найденная зависимость представлена на фиг. 5, из которой видно, что давление истечения возрастает при увеличении α .



Фиг. 5. Зависимость давления истечения от α

Одной из важных величин, характеризующих механические свойства кристалла, является коэффициент сжимаемости. Соотношение между данной [8] величиной и молекулярной концентрацией дается в табл. 3, из которой видно, что для соединений Li, Na, K, Rb, Cs, Ag коэффициент сжимаемости закономерно уменьшается с увеличением молекулярной концентрации.

Таблица 3

Соотношение между коэффициентом сжимаемости k -ионных кристаллов и молекулярной концентрацией

Кристаллы	$K \cdot 10^{-6}$ $см^2/кг$	α $см^{-3}$ моль	Кристаллы	$K \cdot 10^{-6}$ $см^2/кг$	α $см^{-3}$ моль
LiF	1,5	77			
LiCl	3,6	49	RbCl	7,2	23
LiBr	4,9	40	RbBr	8,0	20
LiJ	7,1	30	RbJ	9,1	15
NaCl	4,0	37	CsCl	5,8	24
NaBr	5,2	31	CsBr	6,9	21
NaJ	7,0	24	CsJ	9,1	17
KF	3,2	41	AgCl	2,4	39
KCl	5,5	26	AgBr	2,7	34
KBr	6,3	22			
KJ	8,6	19	AgJ	4,0	20

Важнейшей константой упругости, характеризующей взаимодействие между ионами, является модуль сдвига. Зависимость данной величины для щелочно-галогидных кристаллов от молекулярной концентрации видна на фиг. 6, на основании которой можно говорить о наличии связи между модулем сдвига и α .

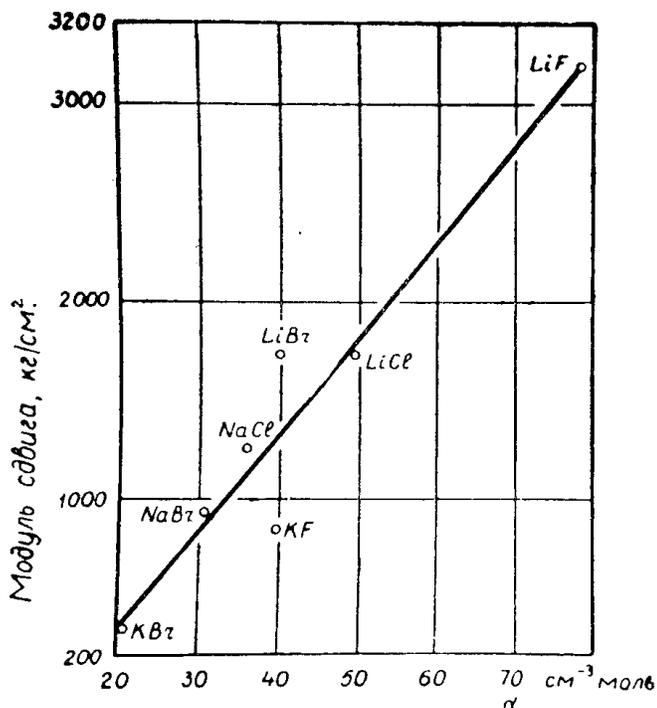
В. Д. Кузнецов для изучения механических свойств кристаллов использует способы абразивного износа и взаимного шлифования кристаллов [9]. Из опытов по шлифованию абразивной бумагой щелочно-галогидных кристаллов были найдены отношения силы трения F к сошлифованной массе M . Эти отношения $\frac{F}{M}$ в табл. 4 мы сопоставили с молекулярной концентрацией α .

Таблица 4

Кристаллы	NaCl	KCl	KJ
$\frac{F}{M} \frac{дн}{мг} 10^3$	14,2	10,9	4,9
α $см^{-3}$ моль	37	26	19

Из табл. 4 видно, что для щелочно-галогидных кристаллов отношение $\frac{F}{M}$ увеличивается с увеличением молекулярной концентрации.

При взаимном шлифовании щелочно-галогидных поликристаллов с помощью абразивного порошка марки КЗ-100 получены [9]



Фиг. 6. Зависимость модуля сдвига от α .

отношения сошлифованных объемов $\frac{v_2}{v_1}$, которые в табл. 5 сопоставляются нами с молекулярной концентрацией. В качестве эталонного кристалла в этих опытах использовался монокристалл NaCl. Из табл. 5 видно, что относительный износ $\frac{v_2}{v_1}$ уменьшается при увеличении молекулярной концентрации.

Мы проводили опыты [10] по взаимному шлифованию щелочно-галогидных монокристаллов с помощью абразивного порошка КЗ-100. Монокристаллы были выращены из химически чистых солей по способу Киропулоса. Результаты этих опытов приводятся в табл. 6, в которой делается сопоставление отношения сошлифованных объемов $\frac{v_2}{v_1}$ щелочно-галогидных монокристаллов с молекулярной концентрацией α . В качестве эталона в этих опытах выбирался монокристалл KCl. Из табл. 6 видно, что с увеличением молекулярной концентрации уменьшается абразивный износ щелочно-галогидных монокристаллов.

Таким образом, с увеличением молекулярной концентрации возрастают твердость, определенная по способам затухающих колебаний и сверления, твердость по Моосу, абразивная износостойкость, дав-

ление истечения. С увеличением молекулярной концентрации уменьшается коэффициент сжимаемости ионных кристаллов.

Таблица 5

Соли	NaCl	NaBr	KCl	KBr	KJ
$v_2 : v_1$	1	1,27	1,37	1,56	1,97
$\alpha \text{ см}^{-3} \text{ моль}$	37	31	26	22	19

Таблица 6

Соли	NaCl	NaBr	KCl	KBr	KJ
$v_2 : v_1$	0,63	0,83	1	1,1	1,4
$\alpha \text{ см}^{-3} \text{ моль}$	37	31	26	22	19

Представляет интерес установить связь α с тепловыми характеристиками ионных кристаллов. Сопоставление α с тепловыми константами щелочно-галогидных кристаллов показано в табл. 7.

При составлении этой таблицы мы использовали данные [7, 8, 11, 12].

Из табл. 7 видно, что с увеличением молекулярной концентрации наблюдается увеличение температуры плавления, температуры кипения, теплоты плавления, теплоты сублимации и уменьшение коэффициента линейного расширения. Необходимо также подчеркнуть, что коэффициенты пропорциональности между рассматриваемыми физическими величинами и α изменяются при переходе от соединений одного галоида к соединениям другого галоида.

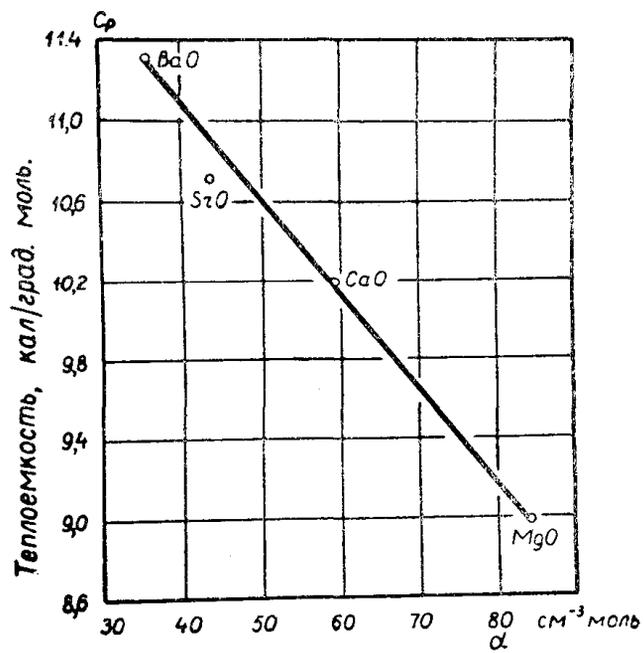
На фиг. 7—10 мы изображаем зависимость от α теплоемкости, энтропии, температуры плавления, теплоты сублимации для окислов второй группы (BaO, SrO, CaO, MgO). Из этих фигур видно, что теплота сублимации, теплота плавления увеличиваются при возрастании α ; теплоемкость, энтропия убывают при возрастании α .

Рассмотрим соотношение между α и величинами, характеризующими электрические свойства тел.

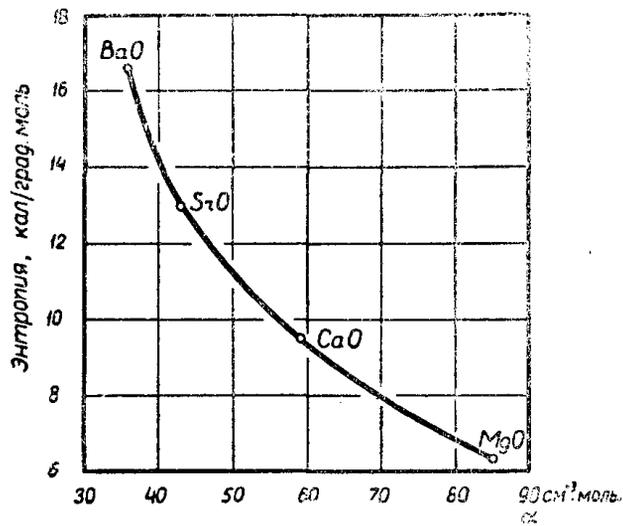
Связь $\text{tg } \delta$ при частоте 10^6 гц с молекулярной концентрацией представлена на фиг. 11. Значения $\text{tg } \delta$ нами взяты из работы [13]. Из фиг. 11 видно закономерное уменьшение $\text{tg } \delta$ с увеличением молекулярной концентрации.

Н. П. Богородицкий [14] приводит для некоторых щелочно-галогидных солей значения диэлектрического коэффициента ϵ и $\text{tg } \delta$ при температурах 100, 200 и 300°C. На основании этих данных можно вычислить температурный коэффициент диэлектрических потерь β по формуле:

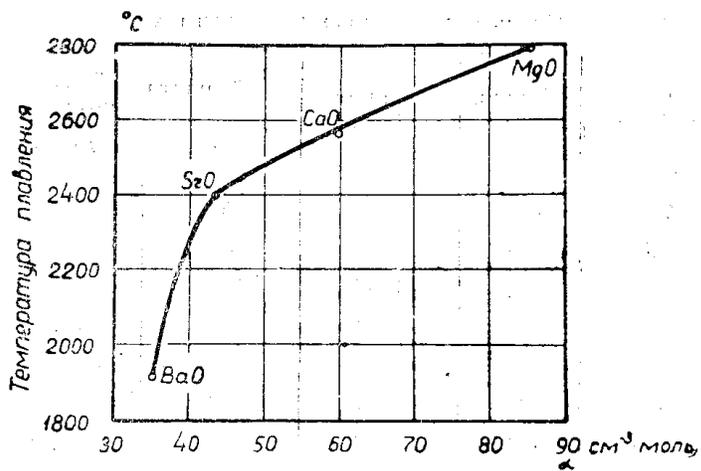
$$\beta = \frac{\text{tg } \delta_2 - \text{tg } \delta_1}{t_2 - t_1}, \text{ где } \text{tg } \delta_1 \text{ и } \text{tg } \delta_2 - \text{тангенс угла диэлектрических потерь при температурах соответственно } t_1 \text{ и } t_2.$$



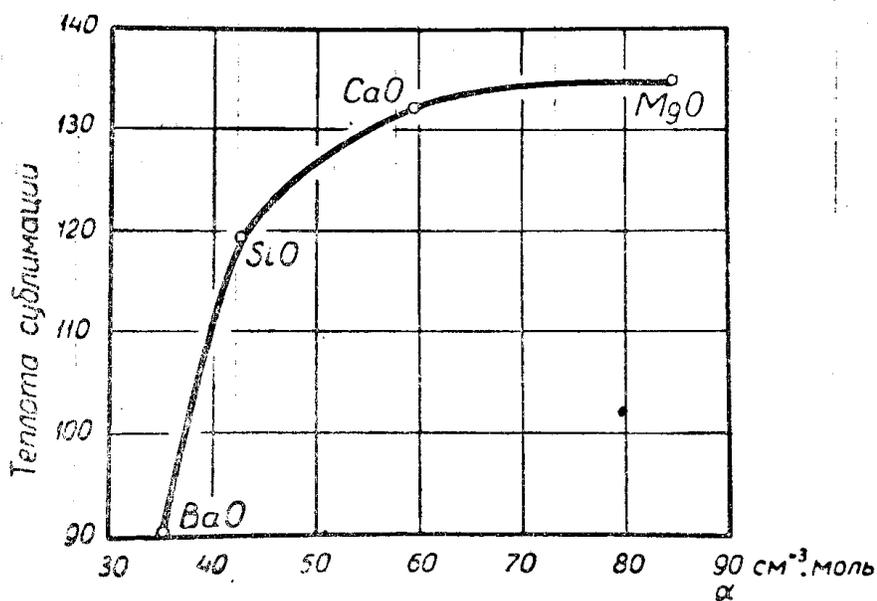
Фиг. 7. Зависимость теплоемкости от α



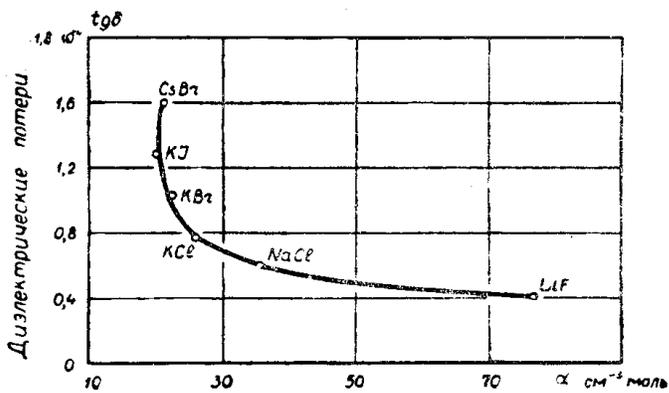
Фиг. 8. Зависимость энтропии от α



Фиг. 9. Зависимость температуры плавления от α



Фиг. 10. Зависимость теплоты сублимации от α



Фиг. 11. Связь тангенса угла диэлектрических потерь при частоте 10^6 гц с числом α

Таблица 7

Связь α с тепловыми константами

Кристаллы	α см ⁻³ моль	Т плав. °абс.	Т кипен. °абс.	Теплота $\frac{\text{ккал}}{\text{моль}}$		Коэф. линейного расширения. град ⁻¹ · 10 ⁶
				плавл.	сублим.	
LiF	77	1134	1954	6	63	30,7
LiCl	49	887	1655	5	47	40,7
LiBr	40	823	1583	4,5	44,8	46,7
LiJ	30	—	1444	—	44,4	55,7
NaF	65	1272	1977	7,6	72	32,7
NaCl	37	1073	1738	7,0	56,6	36,7
NaBr	31	1020	1665	6,14	53,8	39,7
NaJ	24	935	1577	5,24	50,4	46,5
KF	41	1130	1776	6,48	50,2	33,3
KCl	26	1043	1680	6,38	52,5	33,7
KBr	22	1015	1656	6,2	50,3	36,7
KJ	19	955	1597	4,1	48,5	41,7
RbF	28	—	1681	6	53,4	—
RbCl	23	990	1670	5	51,5	32,8
RbBr	20	950	1625	5	50,8	34,7
RbJ	15	914	1577	5	49,8	39,7
CsF	26	957	1524	5	51	—
CsCl	24	915	1573	4,1	44,6	45,7
CsBr	21	—	1573	5	44,9	47
CsJ	17	—	1577	5	44,7	48,7

Таблица 8

Сопоставление диэлектрического коэффициента, диэлектрических потерь и температурного коэффициента диэлектрических потерь с молекулярной концентрацией

Соли	α см ⁻³ моль	ϵ	tg δ · 10 ⁴		β град ⁻¹
			100°C	300°C	
NaCl	37	5,8	<3	30	27 : 200
NaBr	31	6,0	4	90	86 : 200
CsCl	24	7,2	5	100	95 : 200
CsBr	21	8,8	18	300	284 : 200

Из табл. 8, в которой сопоставляются величины ϵ , tg δ и β с молекулярной концентрацией α , видно, что при уменьшении α увеличиваются диэлектрический коэффициент, диэлектрические потери и температурный коэффициент диэлектрических потерь.

На фиг. 12 представлена зависимость электронной составляющей диэлектрического коэффициента $\tilde{\epsilon}$ от молекулярной концентрации. Из фиг. 12 видно закономерное уменьшение $\tilde{\epsilon}$ с увеличением α .

Сопоставление электрической прочности E_{np} щелочно-галогидных кристаллов с молекулярной концентрацией показано в табл. 9 и на фиг. 13. Значения E_{np} взяты нами из работы [15]. Из фиг. 13 и табл. 9 можно видеть, что электрическая прочность E_{np} связана с молекулярной концентрацией α соотношением:

$$E_{np} = k\alpha.$$

Пользуясь этим соотношением, мы определили электрическую прочность кристаллов LiCl, LiBr, CsCl, CsBr, CsJ, для которых опытные значения E_{np} еще не известны. Эти данные приведены в табл. 9.

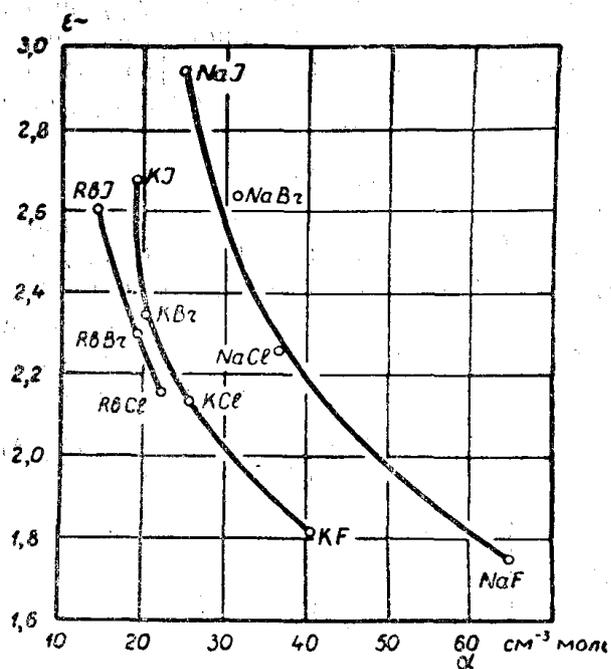
Таблица 9

Сопоставление электрической прочности щелочно-галогидных кристаллов с молекулярной концентрацией

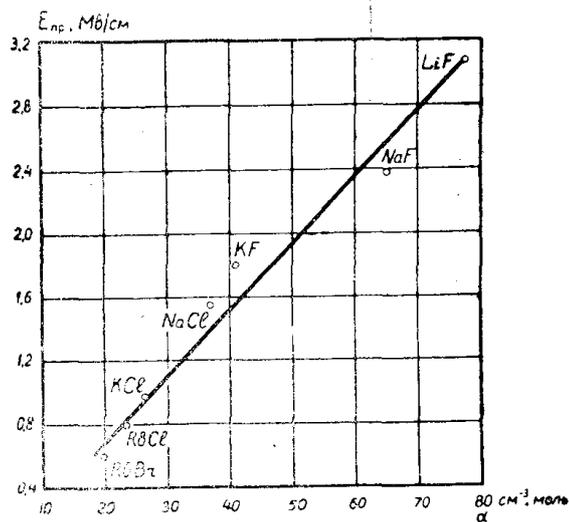
Кристаллы	E_{np} МВ/см опыт	α см ⁻³ моль	E_{np} МВ/см теория
LiF	3,1	77	
NaF	2,4	65	
KF	1,8	41	
NaCl	1,5	37	
KCl	1,0	26	
RbCl	0,8	23	
NaBr	1,0	31	
KBr	0,7	22	
RbBr	0,6	20	
NaJ	0,8	24	
KJ	0,6	19	
RbJ	0,5	15	
LiCl		49	1,9
LiBr		40	1,4
CsCl		24	0,8
CsBr		21	0,8
CsJ		17	0,5—0,6

Необходимо отметить, что электрическая прочность кристалла LiCl была вычислена ранее Е. К. Завадовской [16], исходя из связи E_{np} с энергией кристаллической решетки. Полученное нами значение E_{np} для LiCl совпало с тем, которое нашла Е. К. Завадовская.

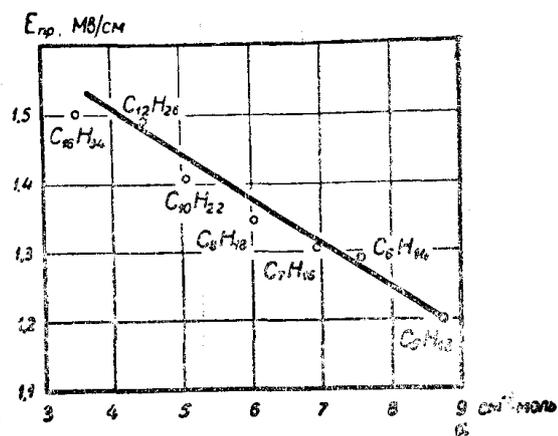
Кроме того, мы обнаружили зависимость электрической прочности некоторых жидких диэлектриков от молекулярной концентрации (фиг. 14). Значения E_{np} мы взяли из работы [17].



Фиг. 12. Связь электронной составляющей диэлектрического коэффициента с числом α



Фиг. 13. Зависимость электрической прочности щелочно-галогидных кристаллов от молекулярной концентрации



Фиг. 14. Зависимость электрической прочности гомологического ряда жидких диэлектриков от молекулярной концентрации

Из фиг. 13 и 14 видно, что характер зависимости электрической прочности от молекулярной концентрации различен для щелочно-галогидных кристаллов и жидких диэлектриков.

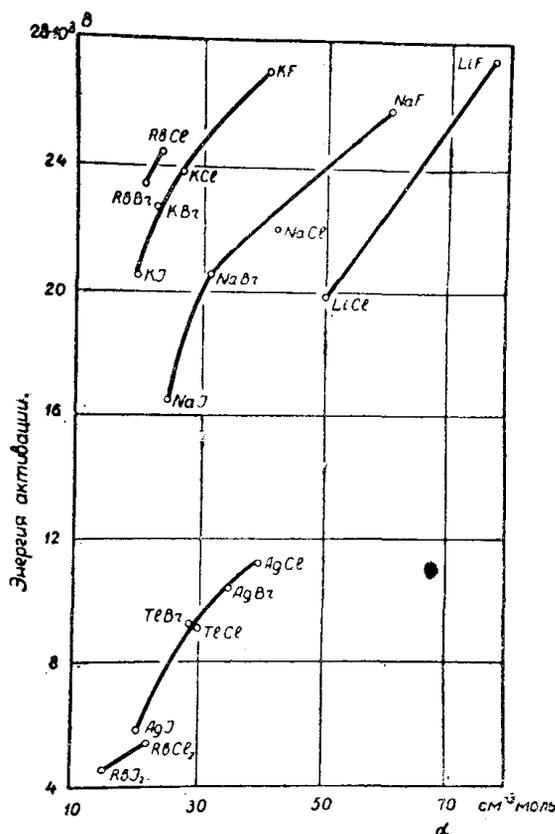
Рассмотрим связь ионной проводимости щелочно-галогидных солей с величиной α . Ионная проводимость твердых тел возрастает с температурой и определяется по уравнению Вант-Гоффа: $\sigma = A e^{-B/kt}$

Зависимость константы B (энергия активации) от молекулярной концентрации приводится на фиг. 15. Значения B мы взяли из работы [18]. Из фиг. 15 видно закономерное возрастание B при увеличении α .

Сопоставление величины α с ионной проводимостью солей σ при температуре плавления показано в табл. 10, из которой видно, что при температуре плавления солей наблюдается возрастание электропроводности при увеличении α .

В случае твердых ионных диэлектриков проводимость уменьшается с увеличением α ; α — константа, имеющая смысл ионной концентрации. Таким образом, увеличение концентрации ионов в расплаве увеличивает его электропроводность, а увеличение концентрации ионов в решетке снижает электропроводность. Последнее находит объяснение на основании рассмотренных нами связей. Увеличение α приводит к росту механической, термической и электрической прочности.

Представляет интерес установить связь α с оптическими константами кристалла.



Фиг. 15. Зависимость энергии активации процесса электропроводности от α

Таблица 10

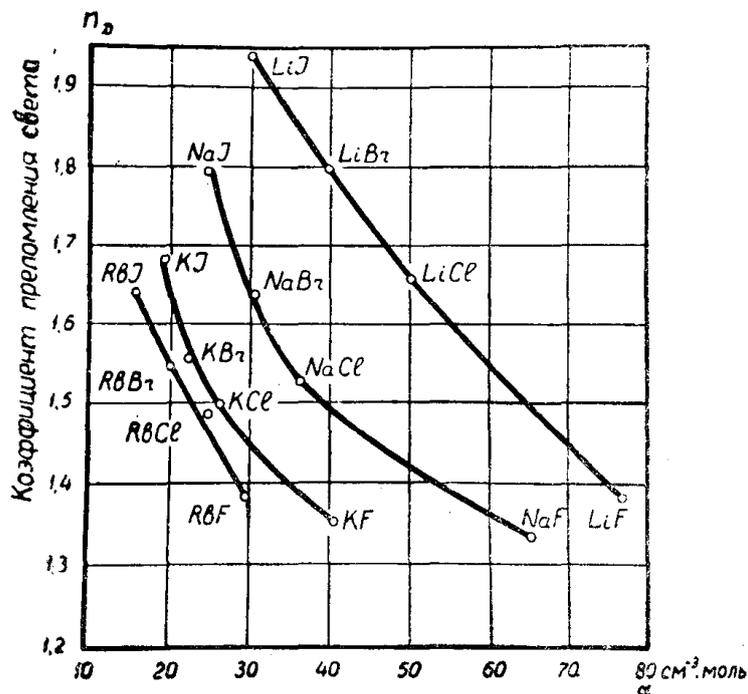
Сопоставление ионной проводимости солей при температуре плавления с молекулярной концентрацией

Соль	LiF	NaF	KF	LiCl	NaCl	KCl	NaBr	KBr	NaJ	KJ
$\text{см}^{-3} \text{ моль}$	77	65	41	49	37	26	31	22	24	19
$\sigma \cdot 10^{-3}$	6	1,7	0,8	15	1,7	0,2	1,3	0,2	4	0,15

На фиг. 16 мы приводим зависимость коэффициента преломления n_D от числа α . При этом наблюдается закономерное уменьшение коэффициента преломления при увеличении α .

В щелочно-галогидных кристаллах удается наблюдать центры окраски с характерной полосой F -поглощения в видимой части спектра.

ра. Свойства F -полосы связаны со структурой кристалла. Е. К. Завадовская [19] установила связь между максимумом поглощения, соответствующим F -полосе, и энергией решетки.



Фиг. 16. Зависимость коэффициента преломления n_D от молекулярной концентрации.

На фиг. 17 мы приводим связь между положением максимума F -полосы поглощения и молекулярной концентрацией. Зависимость в этом случае линейная.

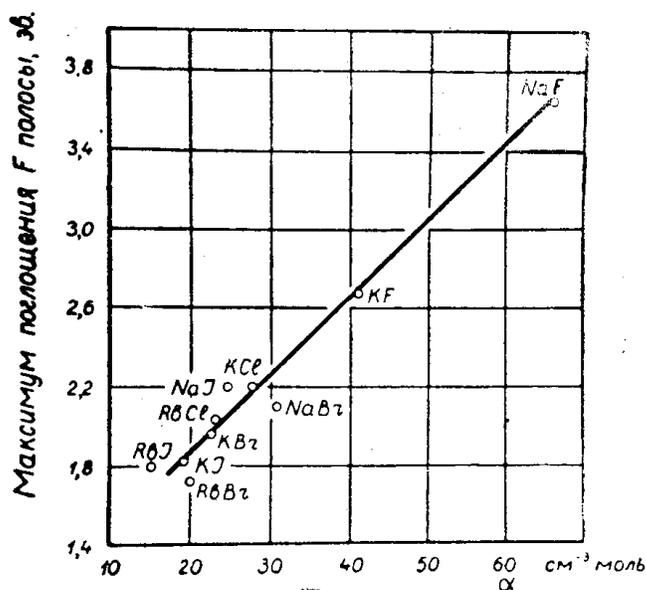
Таким образом, и оптические константы связаны с величиной α . Имеется связь молекулярной концентрации с некоторыми свойствами полупроводников. А. Ф. Иоффе [20] указывает, что электрические свойства полупроводников определяются в первую очередь ближним порядком, т. е. химической природой соседей, расположением частиц и величиной межатомных расстояний. Наличие строго периодической решетки играет второстепенную роль. Молекулярная концентрация зависит от расположения частиц, межатомных расстояний, природы частиц и поэтому может быть использована для характеристики свойств полупроводников.

Н. П. Мокровский и А. Р. Регель [21], измеряя электропроводность кремния, нашли, что при плавлении его удельное сопротивление уменьшается в 29 раз. Это объясняется увеличением среднего координационного числа в жидком кремнии по сравнению с твердым кремнием. Плотность кремния в жидком состоянии больше, чем в твердом, что приводит к значительному увеличению α при плавлении.

Они же [22] нашли связь между изменениями плотности и электронной проводимости при плавлении веществ со структурой типа алмаза или цинковой обманки. Оказалось, что у веществ (Ge, GaSb, JnSb), у которых при плавлении электропроводность резко возрастает, наблюдается соответственное возрастание и плотности. У HgTe изменение электропроводности при плавлении носит сложный харак-

тер, чему соответствует сложная зависимость температурного хода плотности.

Эти опыты являются убедительным доказательством возможности



Фиг. 17. Связь между положением максимума F -полосы поглощения и величиной α

использования молекулярной концентрации для оценки свойств веществ.

С помощью α можно также оценить холловскую подвижность электронов μ_H в кристаллах. В табл. 11 делается сопоставление μ_H с молекулярной концентрацией. Значения μ_H взяты из работы [23]. Из табл. 11 видно, что для щелочно-галогидных соединений подвижность электронов возрастает при уменьшении молекулярной концентрации.

Таким образом, концентрация связана с большим числом констант, характеризующих реальные кристаллы. С увеличением молекулярной концентрации возрастает электрическая, термическая и механическая стойкость ионных кристаллов.

Таблица 11

Сопоставление холловской подвижности электронов в кристаллах μ_H с молекулярной концентрацией α

Кристаллы	ρ абс.	μ_H см ² /в сек	α см ⁻³ моль
KCl	90	100 ± 50	26
KBr	84	110 ± 2	22
KJ	84	155 ± 30	19

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. Изв. Томского политехн. ин-та, **91**, 173, 1956.
2. Сирота Н. Н. Изв. СФХА **21**, 90, 1956.
3. Ровинский Б. М. Изв. АН СССР ОТН № 9, 55, 1956.
4. Лазарев П. П. Сочинения т. 2, Изд. АН СССР, 1950.
5. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела, **1**, Изд. „Красное Знамя“. Томск 1937.
6. Goldschmidt V. M., Berichte d. Deutsche Chem. Ges. **60**, 1263, 1927.
7. Курнаков Н. С. Собрание избранных работ **1**, 1938; **2**, ОНТИ, 1939.
8. Сборник физических констант под редакцией Я. Г. Дорфмана и С. Э. Фриша. ОНТИ, 1937.
9. Кузнецов В. Д. Поверхностная энергия твердых тел. Гостехиздат, 1954.
10. Савинцев П. А. Изв. Томского политехнического ин-та, **91**, 199, 1956.
11. Кэй Д. и Леби Т. Справочник физика-экспериментатора. ГИИЛ, 1949.
12. Техническая энциклопедия. Справочник физических, химических и технологических величин, 1927.
13. Водопьянов К. А., Воробьев А. А. и Кривов М. А. Изв. Томского политехн. ин-та, **83**, 22, 1956.
14. Богородицкий Н. П. Диэлектрические потери в радиокерамике. Доклады научно-технического совещания по радиокерамике. Ленинград. Изд. ЛЭИ им. В. И. Ульянова (Ленина), 1955.
15. Воробьев А. А. и Завадовская Е. К. Изв. Томского политехн. ин-та **83**, 3, 1956.
16. Завадовская Е. К., ДАН СССР **82**, № 5, 1952.
17. Воробьев А. А. и Калганов А. Ф. Изв. Томского политехн. ин-та, **83**, 248, 1956.
18. Зейтц В. УФН, **18**, вып. 4, 542, 1937.
19. Завадовская Е. К., Изв. Томского политехн. ин-та, **83**, 30, 1956.
20. Иоффе А. Ф. Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции. ч. 1, 305, Изд. АН СССР, 1947.
21. Мокровский Н. П. и Регель А. Р. ЖТФ **23**, вып. 5, 1953.
22. Мокровский Н. П. и Регель А. Р. ЖТФ **22**, вып. 8, 1952.
23. Redfield A. Phys. Rev; **94** № 3, 537, 1954.