

Ю.А.КАРАПЕТЯН, В.Н.ЭЙЧИС

**Физико-  
химические  
свойства  
электролитных  
неводных  
растворов**



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	4
Список обозначений и принятых сокращений . . . . .	6
<b>Глава 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕВОДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Классификация растворителей . . . . .	8
1.2. Донорные и акцепторные числа. Некоторые другие эмпирические параметры . . . . .	25
1.3. Константы автоионизации . . . . .	28
1.4. Зависимость свойств индивидуальных растворителей от температуры . . . . .	34
1.5. Смешанные растворители . . . . .	57
<b>Глава 2. ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ РАСТВОРЫ. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОВОДЯЩИХ РАСТВОРОВ . . . . .</b>	<b>58</b>
2.1. Свойства растворов ионофоров . . . . .	59
2.1.1. Плотность . . . . .	59
2.1.2. Вязкость . . . . .	62
2.1.2.1. Зависимость вязкости от температуры . . . . .	62
2.1.2.2. Зависимость вязкости от концентрации . . . . .	64
2.1.3. Электропроводность . . . . .	75
2.1.3.1. Зависимость молярной электропроводности от концентрации . . . . .	75
2.1.3.2. Зависимость удельной электропроводности от концентрации . . . . .	82
2.1.3.3. Зависимость электропроводности от температуры . . . . .	91
2.1.4. Числа переноса ионов . . . . .	94
2.2. Свойства растворов ионогенов . . . . .	101
2.2.1. Электролитическая диссоциация в системах с ионогенами . . . . .	105
2.2.2. Перенос тока в неводных растворах . . . . .	108
2.2.3. Транспортные свойства . . . . .	111
<b>Глава 3. МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ СИСТЕМЫ. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ . . . . .</b>	<b>183</b>
<b>Глава 4. РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ПРЕДЕЛЬНОМ РАЗБАВЛЕНИИ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ <math>\lambda_{070}</math> . . . . .</b>	<b>206</b>
<b>Глава 5. МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЛИТНЫХ РАСТВОРОВ. ОЧИСТКА ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ . . . . .</b>	<b>227</b>
5.1. Определение плотности, вязкости, электропроводности . . . . .	227
5.2. Термодинамические параметры активации транспортных процессов . . . . .	232
5.3. Методы очистки исходных компонентов. Методы контроля чистоты . . . . .	234
Библиографический список . . . . .	239

УДК 541.123:541.135

Физико-химические свойства электролитных неводных растворов/Ю. А. Карапетян, В. Н. Эйчис. — М.: Химия, 1989.— 256 с. ISBN 5-7245-0110-4

Рассмотрены методы определения и расчета физико-химических свойств индивидуальных жидкостей и растворов электролитов, приведены значения плотности, вязкости, электрической проводимости, чисел переноса, термодинамических параметров активации транспортных процессов и др. Описаны свойства более 130 широко используемых органических и неорганических растворителей, а также растворов электролитов в индивидуальных и смешанных неводных растворителях в широком концентрационном и температурном интервалах. Изложены методы очистки исходных компонентов электролитных растворов.

Для научных работников, химиков-технологов, преподавателей, аспирантов и студентов химических специальностей вузов.

Табл. 368. Ил. 20. Библиогр.: 397 назв.

180500000-122  
К 050(01)-89 18-88

ISBN 5-7245-0110-4

© Издательство «Химия», 1989

Использование электролитных неводных композиций в различных отраслях производства возрастает с каждым годом. Связано это с тем, что при замене водных электролитов на неводные во многих случаях упрощается технология производства выпускаемых разнообразных химических веществ, технических устройств и т. д., существенно улучшается их качество. В ряде случаев именно использование неводных электролитов позволяет достичь принципиально новых результатов. Так, применение неводных электролитов привело к разработке новых типов химических источников тока (ХИТ) с анодом из активных металлов. Отличительной чертой таких ХИТ является высокая удельная энергия и работоспособность в очень широком температурном интервале (от  $-60$  до  $+60^\circ\text{C}$ ), что для некоторых отраслей техники имеет первостепенное значение.

Интенсивно используются неводные электролиты и в практике электровыделения металлов, особенно таких, которые из водных растворов не удается получить вообще, а также таких, чье получение связано с применением высоких температур.

Выбор оптимальной электролитной композиции с определенным набором физико-химических и электрохимических параметров для различных технологических целей является сложной задачей, которая в настоящее время решается в основном эмпирически. Разработка и обоснование общих принципов, позволяющих вести направленный подбор электролитов, наталкиваются на серьезные затруднения, связанные с тем, что в технике преимущественно применяются растворы, концентрация которых ( $0,5$ — $2,5$  М) примерно на три порядка превышает концентрацию растворов, количественно описываемых современной теорией.

В настоящей книге сделана попытка систематизировать и теоретически обобщить экспериментальные данные по физико-химическим свойствам растворов электролитов (ионофоров, ионогенов) в целом ряде органических и неорганических растворителей (свыше 130), включая наиболее перспективные и нашедшие в последнее время широкое практическое применение растворители, такие, как циклические эфиры и лактоны, амиды и эфиры карбоновых кислот, галогенидосиды фосфора, серы и т. д.

Основное внимание уделяется описанию и обсуждению транспортных свойств (электропроводность, вязкость) неводных растворов электролитов. (Термодинамические свойства электролитных растворов довольно подробно освещены в литературе.)

Книга содержит достаточно обширные сведения по физико-химическим свойствам хорошо проводящих неводных растворов электролитов: плотности, вязкости, электрической проводимости, числам переноса и др. Физико-химические свойства растворов приведены для широкого концентрационного и температурного интервалов, что отличает данную книгу от аналогичных изданий. Рассмотрены способы расчета свойств смешанных растворителей, а также методы очистки исходных компонентов электролитных растворов и методы контроля содержания в них различных примесей (в первую очередь воды). В каждой главе кратко изложены основные теоретические положения и дается теоретическое обобщение приведенного экспериментального материала.

В книгу вошли результаты экспериментальных и теоретических разработок, выполненных на кафедре физической и коллоидной химии Киевского ордена Ленина политехнического института.

Авторы выражают искреннюю признательность заведующей кафедрой проф. Ю. Я. Фиалкову и всем сотрудникам кафедры за плодотворное обсуждение, а также чл.-корр. АН СССР Г. А. Крестову и проф. Г. М. Полторацкому за ценные замечания, высказанные при подготовке книги к печати.

## СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Hept — гептил  
Oct — октил  
Non — нонил  
Ph — фенил

Form — формат-ион  
Ac — ацетат-ион  
Pi — пикрат-ион

$AN, DN$  — акцепторное и донорное число растворителя соответственно  
 $a$  — параметр наибольшего сближения ионов,  $1 \cdot 10^{-10}$  м (А)  
 $c$  — молярная концентрация раствора, кмоль/м<sup>3</sup>  
 $F$  — число Фарадея, Кл/кмоль  
 $\Delta G_{x,\lambda}^\ddagger$  — свободная энтальпия активации электропроводности, кДж/моль  
 $\Delta G_\eta^\ddagger$  — свободная энтальпия активации вязкого течения, кДж/моль  
 $g$  — массовая доля компонента  
 $\Delta H_{x,\lambda}^\ddagger$  — энтальпия активации электропроводности, кДж/моль  
 $\Delta H_\eta^\ddagger$  — энтальпия активации вязкого течения, кДж/моль  
 $\Delta H_{исп}$  — теплота испарения, кДж/моль  
 $h$  — постоянная Планка, Дж·с  
 $K$  — криоскопическая константа, К·кг·моль<sup>-1</sup>  
 $M$  — молярная масса, кг/кмоль  
 $m$  — моляльность раствора электролита, моль/кг растворителя  
 $\bar{m}$  — концентрация электролита, моль/кг раствора  
 $N_A$  — постоянная Авогадро  
 $n_D$  — показатель преломления  
 $R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К  
 $\Delta S_{x,\lambda}^\ddagger$  — энтропия активации электропроводности, Дж/моль·К  
 $\Delta S_\eta^\ddagger$  — энтропия активации вязкого течения, Дж/моль·К  
 $T$  — температура, К  
 $T_{пл}, T_{кип}$  — температура плавления и кипения при стандартном атмосферном давлении, К  
 $t$  — температура, °С  
 $V$  — объем, м<sup>3</sup>  
 $X$  — молярная доля компонента  
 $\alpha$  — степень диссоциации  
 $\gamma_\pm$  — средний ионный коэффициент активности  
 $\delta$  — стандартное отклонение расчетных величин от экспериментальных  
 $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость при нулевой частоте  
 $\epsilon_\infty$  — диэлектрическая проницаемость при бесконечной частоте  
 $\kappa$  — удельная электропроводность, См/м  
 $\lambda$  — молярная электропроводность, См·м<sup>2</sup>/кмоль  
 $\lambda_0$  — предельная молярная электропроводность, См·м<sup>2</sup>/кмоль  
 $\lambda_0^\pm$  — предельная ионная проводимость, См·м<sup>2</sup>/кмоль ион  
 $\mu$  — электрический момент диполя, Д (1Д=0,333·10<sup>-30</sup> Кл·м)  
 $\nu$  — кинематическая вязкость,  $\nu = \eta/\rho$   
 $\rho$  — плотность раствора, кг/м<sup>3</sup>  
 $\sigma$  — поверхностное натяжение, Н/м  
 $\tau$  — время диэлектрической релаксации, с  
 $\Phi_V$  — кажущийся молярный объем, м<sup>3</sup>/кмоль  
 $\eta$  — динамическая вязкость раствора, Н·с/м<sup>2</sup>  
 $\eta_0$  — динамическая вязкость растворителя, Н·с/м<sup>2</sup>  
 $\eta_{отн}$  — относительная динамическая вязкость,  $\eta_{отн} = \eta/\eta_0$

### РАСТВОРИТЕЛИ

АН — ацетонитрил	НБ — нитробензол
Ац — ацетон	НМ — нитрометан
БЛ — бутиролактон	ПК — пропиленкарбонат
ВК — винилкарбонат	Сф — сульфолан
ГМФА — гексаметилфосфортриамид	ТГФ — тетрагидрофуран
ДМА — диметилацетамид	ТММ — тетраметилмочевина
ДМСО — диметилсульфоксид	ФА — формамид
ДМФ — диметилформамид	ХБ — хлорбензол
ДМЭ — диметоксиэтан	ЭГ — этиленгликоль
о-ДХБ — орто-дихлорбензол	ЭК — этиленкарбонат
ДХЭ — 1,2-дихлорэтан	EtAc — этилацетат
N-МАА — N-метилацетамид	MeAc — метилацетат
N-МПА — N-метилпропионамид	Pу — пиридин
МЭК — метилэтилкетон	

### РАДИКАЛЫ И ИОНЫ

Me — метил	Bu — бутил
Et — этил	Pent — пентил
Pr — пропил	Hex — гексил

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕВОДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

### 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Любая классификация растворителей основана на сходстве либо различии в каких-то конкретных свойствах или признаках (протоно-донорные, протоно-акцепторные свойства, влияние на силу растворенных электролитов и т. п.), являющихся главными для данного процесса. Вот почему существует множество самых разнообразных классификаций растворителей.

Система классификации, предложенная Брэнстедом [1], учитывает протонофильные (протоногенные) свойства растворителей и их диэлектрическую проницаемость ( $\epsilon$ ). В соответствии с этими признаками растворители разделены на восемь групп. Примеры растворителей, относящихся к различным группам, даны в табл. 1.1. Классификация растворителей по Брэнстеду позволяет предвидеть характер взаимодействия в системах с ионогенами. В соответствии с классификацией Паркера [2], в основу которой положена сольватирующая способность растворителей, последние делятся на следующие три группы:

**аполярные апротонные растворители** — жидкости, молекулы которых лишены постоянного дипольного момента либо имеют незначительный дипольный момент (до 2 Д). Диэлектрическая проницаемость таких растворителей невысока ( $\epsilon < 15$ ). К этой группе относятся углеводороды и их галогензамещенные производные, простые эфиры и т. п.;

**диполярные апротонные растворители** — жидкости с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon > 15$ ) и дипольным моментом ( $> 2$  Д). К этой группе растворителей могут быть отнесены нитрилы, амиды карбоновых кислот, нитроалканы, различные циклические эфиры, такие, как пропиленкарбонат, бутиролактон и т. п.;

**протонные растворители** — жидкости, молекулы которых содержат подвижный атом водорода, способный образовывать Н-связь с растворенными частицами, в том числе с анионами.

Хорошо известно, что любая классификация, поскольку она основана на вполне определенном числе признаков, является неполной и носит условный характер. Поэтому практическая значимость той или иной классификации определяется теми конкретными целями, которые стоят перед исследователем. Так, при проведении неводного титрования целесообразно пользоваться классификацией растворителей, основанной на их донорно-акцепторных (или кислотно-основных) свойствах. В ряде

Таблица 1.1. Классификация растворителей по Брэнстеду

Характеристика растворителей	Растворители с высокой $\epsilon$	Растворители с низкой $\epsilon$
Амфипротонные Протогенные	Вода, глицерин Серная кислота, фтороводород	<i>n</i> -Бутанол, <i>m</i> -пентанол Трифторуксусная кислота
Протофильные Апротонные	Гидразин Нитробензол, пропиленкарбонат	Триэтиламин, пиридин Гексан, 1,2-дихлорэтан

случаев такая классификация оказывается полезной также для систем, образованных ионофорами с небольшими по размеру катионами (например, солями лития) и органическими растворителями, так как помогает объяснить наблюдающиеся закономерности в изменении силы электролитов.

Для прогнозирования нивелирующе-дифференцирующего действия растворителей на силу растворенных электролитов полезной оказывается классификация растворителей, основанная на величинах констант автоионизации (автопротолиза) [3].

Нам представляется, что с практической точки зрения наиболее удобно деление растворителей на апротонные и протонные. Каждая из этих групп растворителей, в свою очередь, подразделяется на неполярные ( $\epsilon < 4$ ), низкополярные ( $\epsilon = 4 \div 10$ ), среднеполярные ( $\epsilon = 10 \div 40$ ) и высокополярные ( $\epsilon > 40$ ). Такая классификация основывается (об этом подробнее говорится в гл. 4) на ходе концентрационных зависимостей электропроводности растворов ионофоров и возможностях достоверного определения величин предельной молярной электропроводности и констант ассоциации электролитов.

По своей сольватирующей способности растворители могут быть разделены на несольватирующие (инертные) и сольватирующие (координирующие). Сольватирующая способность растворителей может быть учтена с помощью ряда параметров ( $DN$ ,  $AN$ ,  $B$ ,  $E_T$  и т. п.; см. разд. 1.2).

Следует отметить, что в литературе часто используют термины «полярный» и «неполярный» для характеристики растворителей как по дипольному моменту, так и по диэлектрической проницаемости\*. В настоящей книге эти термины употребляются только в последней трактовке; для характеристики же растворителей по дипольным моментам применяется терминология Паркера («аполярный» и «диполярный»).

\* В ряде работ [4, 5] под понятием «полярность» растворителя подразумевают всю совокупность сольватирующих свойств растворителя по отношению к растворенным веществам. Однако такое отождествление совершенно различных свойств растворителей ничем не обосновано и вряд ли является целесообразным.

Таблица 1.2. Свойства индивидуаль

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
<i>Неорганические</i>				
Циановодород	HCN	27,03	259,9	298,85
Сероуглерод	CS <sub>2</sub>	76,14	161,58	319,41
Тетрахлорид титана	TiCl <sub>4</sub>	189,71	250,15	409,75
Тетрахлорид олова	SnCl <sub>4</sub>	260,50	242,95	386,85
Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,03	195,45	239,77
Гидразин	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	32,05	275,15	386,65
Азотная кислота	HNO <sub>3</sub>	63,01	231,55	356,75
Нитрозилхлорид	NOCl	65,46	211,65	267,15
Фосфорная кислота	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98,00	315,5	486,15 (с разл.)
Трихлорид фосфора	PCl <sub>3</sub>	137,33	179,15	349,15
Фосфорилхлорид	POCl <sub>3</sub>	153,33	274,40	381,95
Трихлорид мышьяка	AsCl <sub>3</sub>	181,28	260,15	403,15
Трихлорид сурьмы	SbCl <sub>3</sub>	228,11	346,45	495,15
Пентахлорид сурьмы	SbCl <sub>5</sub>	299,02	277,15	413,15 (с разл.)
Диоксид серы	SO <sub>2</sub>	64,06	197,64	238,08
Серная кислота	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08	283,52	603 (с разл.)
Дейтеросерная кислота	D <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100,06	287,5	—
Пиросерная кислота	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	178,14	308,15	Разл. (>353)
Тионилхлорид	SOCl <sub>2</sub>	118,97	168,65	348,75
Сульфурилхлорид	SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	134,97	219,05	342,85
Фторсульфоновая кислота	HSO <sub>3</sub> F	100,07	185,85	438,65
Хлорсульфоновая кислота	HSO <sub>3</sub> Cl	116,52	193,15	425,15
Триформетансульфокислота	HSO <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	150,08	229,62	435,65
Селеновая кислота	H <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>	144,97	332,15	разл. (>533)
Фтороводород	HF	20,01	189,8	292,6
Хлороводород	HCl	36,46	158,55	189,05

ных растворителей (см. с. 24)

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{исп}^{\neq}$
<i>растворители</i>								
0,6797	0,183	$3,3 \cdot 10^{-4}$ (293)	106,8	2,96	2,2675 (283)	17,8	28,3 (T <sub>кип</sub> )	—
1,2556	0,365 (293)	—	2,625	0,00	1,6182 (293)	31,5	26,8 (T <sub>кип</sub> )	4,70
1,7192	0,807	$1 \cdot 10^{-8}$	2,79 (293)	0	1,60 (293)	—	35,1	6,15
2,2191	0,864	$6,3 \cdot 10^{-9}$ (293 K)	2,89 (293)	0	—	—	34,7	8,55
0,6028	0,135	$1 \cdot 10^{-9}$	16,9	1,45	1,325 (289)	20,8	23,33	2,34
1,0040	0,905	—	58,5	1,83	1,4644	66,7	44,77	—
1,502	0,749	3,39	50 (277)	—	1,3904	—	39,5	8,46
1,59 (267)	0,547 (253)	—	19,7	1,83	—	—	—	—
1,8681	178,1	4,594	—	—	1,4203 (293)	—	—	36,2
1,5567	—	$1 \cdot 10^{-5}$	4,7 (295)	0,78	1,516 (284)	26,8	29,5	—
1,6485	1,070	$2 \cdot 10^{-6}$	13,9 (295)	2,42	1,460	31,4	34,3	7,82
2,16 (293)	1,225 (293)	$1,4 \cdot 10^{-5}$ (293)	12,8 (293)	2,17	1,5975 (295)	39,1	—	—
2,6752 (348)	2,458 (348)	$3,57 \cdot 10^{-4}$ (348)	33,6 (348)	3,75	—	49,6 (347,65)	45,2	16,2 (348)
2,336	2,16	$4,2 \cdot 10^{-8}$ (293)	3,173 (303)	0	—	—	48,1	15,9
1,46 (263)	0,312	$3 \cdot 10^{-6}$	15,1 (273)	1,62	1,369	21,6	23,3	8,04
1,8267	24,54	1,044	100,5	—	1,429	—	50,1 (T <sub>кип</sub> )	26,6
1,8572	24,88	0,282	—	—	—	—	—	27,3
1,9761	53,08	0,351	$\approx 50$	—	1,4362	—	—	35,3
1,629	0,607	$3,5 \cdot 10^{-7}$ (293)	9,25	1,44	1,527	30,8	31,0	7,59
1,6582	0,684	$2 \cdot 10^{-6}$ (293)	8,5	1,8	1,444	27,7	31,4	7,39
1,730	1,40	$1,96 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	—	—	10,4
1,7410	2,43	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$\approx 60$	—	1,437 (287)	—	—	—
1,6987	2,77	$3,52 \cdot 10^{-3}$	—	—	1,3250	—	—	14,3
2,5998	35,21	7,323	—	—	—	—	—	28,5
0,9546	0,256 (273)	$\sim 10^{-4}$ (273)	83,6 (273)	1,736	1,1574	10,1 (273)	7,49 (<T <sub>кип</sub> )	6,96 (248)
1,187 (159)	0,51 (178)	$3,5 \cdot 10^{-7}$ (188)	9,28 (178)	1,06	—	22,4 (192,66)	—	—

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
Бром	Br <sub>2</sub>	159,81	266,15	332,15
Хлорид иода	ICl	162,36	300,35	373,15
			287,05 (β)	(с разл.)

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
3,1009	0,942	$1,10 \cdot 10^{-7}$	3,148 (297,85)	0,40	—	50,5	30,3 (T <sub>кип</sub> )	6,36
3,13	4,19	0,458	—	1,48	—	—	41,8 (T <sub>кип</sub> )	17,2
(318)	(301)	(308)						

## Органические

## растворители

## Амиды

## Амиды

Формаид	HCONH <sub>2</sub>	45,04	275,70	483,65
N-Метилформаид	HCONHCH <sub>3</sub>	59,07	267,75	453,15
N,N-Диметил-формаид	HCON(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	73,10	212,15	426,15
N,N-Диэтил-формаид	HCON(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	101,15	—	451,45
Ацетаид	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	59,07	354,65	494,65
N-Метилацетаид	CH <sub>3</sub> CONHCH <sub>3</sub>	73,10	303,70	479,15
N,N-Диметил-ацетаид	CH <sub>3</sub> CON(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	87,12	293,15	438,15
N,N-Диэтилацет-аид	CH <sub>3</sub> CON(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	115,18	—	457,15
N-Метилпропион-аид	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CONHCH <sub>3</sub>	87,12	242,25	466,15
N,N-Диметилпро-пионаид	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CON(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	101,15	228,15	488,15
N-Метилбутир-аид	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CONHCH <sub>3</sub>	101,15	—	—
1,1,3,3-Тетраме-тилмочеина	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NCON(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	116,16	271,95	448,35
1,1,3,3-Тетраэтил-мочеина	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NCON(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	172,27	—	488,65
Гексаметил-фосфортриаид	[(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> N] <sub>3</sub> PO	179,20	280,35	506,15

1,1294	3,302	$2 \cdot 10^{-5}$	109,5	3,37	1,4468	57,9	53,4	18,6
0,99824	1,65	$8 \cdot 10^{-5}$	182,4	3,86	1,4300	—	—	12,1
0,9445	0,796	$2 \cdot 10^{-6}$	36,71	3,86	1,4269	36,2	49,4	8,45
0,9017	1,139	—	28,4	—	—	—	—	—
0,9867 (367)	1,63 (367)	$2,6 \cdot 10^{-4}$ (367)	60,6 (367)	3,72	1,4278 (351)	—	—	29,8 (323)
0,9503 (303)	3,835 (303)	$5 \cdot 10^{-6}$ (313)	179,0 (303)	3,71	1,4277 (303)	33,7 (303)	—	19,2 (308)
0,9366	0,919	$4 \cdot 10^{-6}$	37,78	3,81	1,4351	—	—	9,41
0,904	1,226	—	30,4	—	—	—	—	—
0,9308	5,214	$1,2 \cdot 10^{-5}$	175,4	3,61	1,4350	—	54,4	20,1
0,9205	0,935	—	32,9	—	—	—	—	—
0,9109	7,472 (303)	$\approx 10^{-4}$	128,4	—	1,4365	—	—	22,7 (308)
0,9619	1,398	$2,5 \cdot 10^{-6}$	23,45	3,47	1,4493	—	—	—
0,9026	2,363	$7,4 \cdot 10^{-7}$	14,4	3,35	—	—	—	—
1,0201	3,227	$1,5 \cdot 10^{-6}$	29,73	5,37	1,4570	—	—	15,0

## Амины

## Амины

Диэтилаид	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NH	73,14	223,15	328,65
Триэтилаид	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> N	101,19	158,45	362,50
Пропилаид	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NH <sub>2</sub>	59,11	190,15	321,65
Этилендиамид	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	60,10	284,45	390,41
Пропилендиамид	CH <sub>3</sub> CH(NH <sub>2</sub> )CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	74,13	—	393,65
(1,2-Пропанди-амид)				
1,1,3,3-Тетраме-тилгуанидин	HN=C[N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub>	115,18	195,15	432,65
Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	93,13	267,17	457,55

0,69894	0,36 (295)	$3 \cdot 10^{-10}$	3,782	1,16	1,38637 (293)	19,4	—	—
0,7235	0,363	—	2,42	0,91	1,4010 (293)	20,1	—	7,47
0,7121	0,353	—	5,31 (293)	1,32	1,38815 (293)	21,7	—	—
0,8922	1,54	$1 \cdot 10^{-7}$	12,9	1,99	1,4540	41,3	45,5	19,7
0,8584	1,46	$8,35 \cdot 10^{-5}$	10,2	—	—	—	—	—
0,9136	1,40	$5 \cdot 10^{-6}$	11,5	—	1,4659	—	46,9 (T <sub>кип</sub> )	—
1,0175	3,640	$2,4 \cdot 10^{-6}$	6,85	1,51	1,58318	42,8	55,8	21,9

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
N-Метиланилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NHCH <sub>3</sub>	107,16	216,15	268,85
N,N-Диметиланилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	121,18	275,60	466,15
N-Этиланилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NHC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	121,18	209,65	477,85
N,N-Диэтиланилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	149,24	251,85	490,65
Пиперидин	CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> NH	85,15	262,65	379,45
Пиридин	N=CHCH=CHCH=CH	79,10	231,60	388,41
2-Метилпиридин (2-Пиколин)	N=CHCH=CHCH=C(CH <sub>3</sub> )	93,13	203,25	402,15
Хинолин	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> N	129,16	257,55	510,25
Морфолин	OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>	87,12	270,05	402,09
N-Метил-2-пирролидон	CH <sub>3</sub> NCOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>	99,13	248,75	475,15

## Кетоны и

Ацетон	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	58,08	178,45	329,44
Метилэтилкетон	CH <sub>3</sub> COC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	72,11	186,46	352,79
Диэтилкетон	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> CO	86,13	233,65	374,85
Изобутилметилкетон	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> )COCH <sub>3</sub>	100,16	189,15	389,65
Циклогексанон	CO(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub>	98,15	256,75	428,80
Ацетофенон	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COCH <sub>3</sub>	120,15	292,77	475,15
Бензальдегид	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHO	106,13	247,15	452,15
Фурфурол	OCH=CHCH=CCHO	96,09	236,65	434,95

## Кислоты и ангидриды

Муравьиная кислота	HCOOH	46,03	281,40	373,85
Уксусная кислота	CH <sub>3</sub> COOH	60,05	289,81	391,05
Трифторуксусная кислота	CF <sub>3</sub> COOH	114,02	257,90	345,55
Монохлоруксусная кислота	CH <sub>2</sub> ClCOOH	94,50	335,95	462,50
Дихлоруксусная кислота	CHCl <sub>2</sub> COOH	128,94	283,95	467,15
Трихлоруксусная кислота	CCl <sub>3</sub> COOH	163,39	330,65	470,65

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
0,982	1,98	—	5,96 (293)	1,67	1,5710 (293)	39,9 (293)	—	17,0
0,952	1,34	—	5,03	1,58	1,5583 (293)	36,0	—	11,2
0,958	1,95	—	5,8	1,70	1,5512	—	—	17,3
0,930	1,93	—	5,22	1,82	1,5385	—	—	16,2
0,8549	1,31	$6,8 \cdot 10^{-5}$	4,28	1,17	1,4534 (293)	29,9	—	14,7
0,97824	0,8844	$< 1 \cdot 10^{-7}$	12,4	2,23	1,5067	34,9	35,5	9,98
0,94432 (293)	8,102 (293)	$5,5 \cdot 10^{-5}$	9,94 (293)	1,97	1,4957	32,6	—	—
1,0929 (293)	3,47	$2,2 \cdot 10^{-8}$	9,0	2,20	1,6228	44,7	—	—
0,99547 (293)	2,23 (293)	$7 \cdot 10^{-6}$ (293)	7,4	1,55	1,4546	—	—	—
1,0286	1,663	$1 \cdot 10^{-6}$	32,0	4,1	1,4679	41,8	—	—

## альдегиды

0,7844	0,303	$5 \cdot 10^{-8}$	20,56	2,83	1,3561	22,7	31,2	5,93
-0,7996	0,374	$5 \cdot 10^{-6}$	18,04	2,80	1,3761	24,0	32,0	6,08
0,80953	0,478 (293)	—	17,00 (293)	2,70	1,39003	24,7	—	—
0,7961	0,542	$< 5,2 \cdot 10^{-6}$ (308)	13,11 (293)	2,66	1,3933	23,2	36,4 (T <sub>кип</sub> )	—
0,9376 (303)	1,803 (303)	—	15,44	3,04	1,45097 (293)	34,0	39,8	14,1
1,0238	1,66	$6,4 \cdot 10^{-7}$	17,48	2,89	1,5322	38,8	38,8	8,93
1,0434	1,395	—	17,59 (291)	2,99	1,5428	39,2 (288)	39,6	—
1,1550	1,49	$1,5 \cdot 10^{-4}$	41,9 (293)	3,60	1,52624 (293)	40,7	43,2 (T <sub>кип</sub> )	13,0

## кислот

1,2131	1,621	$5,82 \cdot 10^{-3}$	56,1	1,77	1,36938	37,0	22,2	14,6
1,0441	1,129	$4 \cdot 10^{-7}$	6,196	1,73	1,36995	27,3	24,4	10,5
1,4777	0,8096	$2,4 \cdot 10^{-5}$	8,3	2,28	1,2850 (293)	—	34,7 (T <sub>кип</sub> )	10,4
1,387 (323)	3,15 (323)	$4,8 \cdot 10^{-5}$ (323)	12,3 (333)	1,91	1,4361 (323)	—	—	27,7
1,5583	6,484	$4 \cdot 10^{-8}$	8,2	1,09	1,4634	31,6 (338)	—	24,6
1,618 (323)	4,99 (323)	$2,9 \cdot 10^{-7}$ (323)	4,55 (334)	1,10	1,4603 (334)	—	—	—



Растворитель	Формула	<i>M</i>	<i>T</i> <sub>пл</sub>	<i>T</i> <sub>кип</sub>
Уксусный ангидрид	(CH <sub>3</sub> CO) <sub>2</sub> O	102,09	200,05	413,15
Пропионовый ангидрид	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CO) <sub>2</sub> O	130,14	228,15	440,15
Ацетилхлорид	CH <sub>3</sub> COCl	78,50	161,15	324,15

## Нитрилы

Ацетонитрил	CH <sub>3</sub> CN	41,05	224,32	354,75
Пропионитрил	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CN	55,08	180,37	370,50
Бутиронитрил	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CN	69,11	161,25	391,05
Изобутиронитрил	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCN	69,11	201,65	380,65
Валеронитрил	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> CN	83,13	176,37	415,40
Бензонитрил	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	103,12	260,40	464,25
Бензилцианид	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CN	117,15	249,35	506,65

## Серосодержащие

Диметилсульфоксид	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> SO	78,13	291,69	462,15
Диметилсульфит	(CH <sub>3</sub> O) <sub>2</sub> SO	110,13	132,15	399,15
Сульфолан	CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> SO <sub>2</sub>	120,17	301,60	560,45
2,4-Диметилсульфолан	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>2</sub>	148,23	—	—

## Спирты

Метанол	CH <sub>3</sub> OH	32,04	175,47	337,66
Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46,07	159,00	351,44
Моноэтаноламин	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	61,08	283,68	441,10
<i>n</i> -Пропанол	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	60,10	146,95	370,30
<i>изо</i> -Пропанол	CH <sub>3</sub> CH(OH)CH <sub>3</sub>	60,10	185,25	355,39
<i>n</i> -Бутанол	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	74,12	184,53	390,87
<i>изо</i> -Бутанол	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> OH	74,12	165,15	381,04
<i>втор</i> -Бутанол	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHONCH <sub>3</sub>	74,12	158,45	372,66
<i>n</i> -Пентанол	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	88,15	194,30	411,21
<i>изо</i> -Пентанол	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH	88,15	155,95	405,15
<i>n</i> -Гексанол	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> OH	102,18	227,05	430,62
<i>n</i> -Гептанол	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> OH	116,20	239,05	449,15
<i>n</i> -Октанол	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> OH	130,23	258,18	468,45
Аллиловый спирт	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>2</sub> OH	58,08	144,15	370,23

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
1,0751	0,842	$4 \cdot 10^{-5}$	20,8	2,8	1,3878	31,9	29,8	9,57
1,0057	1,061	—	18,3	—	1,4046	29,7	—	10,6
0,91	—	$4 \cdot 10^{-5}$	15,5 (289)	2,44	1,3700 (293)	25,8 (288)	—	—

## Нитрилы

0,7768	0,3415	$1 \cdot 10^{-6}$	35,95	3,45	1,34163	28,45	32,8	6,12
0,7768	0,389 (303)	$8 \cdot 10^{-6}$	27,2 (293)	3,56	1,3659	—	35,9	6,55
0,7864	0,515 (303)	—	20,3 (294)	3,58	1,37954 (303)	—	39,9	8,46
0,773	—	—	20,4	3,61	1,3720	—	37,6	—
0,7938	0,637 (303)	—	20,04 (293)	3,60	1,3961	26,9	33,4 ( <i>T</i> <sub>кип</sub> )	8,96
1,0006	1,237	$2 \cdot 10^{-6}$	25,20	4,03	1,5265	37,5	45,9 ( <i>T</i> <sub>кип</sub> )	12,0
1,0125	1,93	$< 5 \cdot 10^{-6}$	18,23 (294)	3,48	1,52086	41,4 (300,5)	—	—

## соединения

1,0955	1,998	$2,1 \cdot 10^{-6}$	46,5	4,02	1,4765	43,0	52,6	13,6
1,2062	0,828	$5,6 \cdot 10^{-5}$	21,3	2,90	1,4062	—	—	9,09
1,2629 (303)	10,29 (303)	$2 \cdot 10^{-7}$ (303)	43,3 (303)	4,81	1,4818 (303)	—	—	20,0 (303)
1,1314	9,04	$2,4 \cdot 10^{-6}$	29,5	—	—	—	—	—

## Спирты

0,78636	0,5445	$1,5 \cdot 10^{-7}$	32,63	1,70	1,32663	22,1	38,1	9,31
0,78504	1,087	$1,4 \cdot 10^{-7}$	24,35	1,69	1,35941	21,6	42,9	12,5
1,0116	19,346	—	37,72	2,27	1,4541 (293)	48,3	49,8 ( <i>T</i> <sub>кип</sub> )	—
0,79950	1,968	$1,3 \cdot 10^{-7}$	20,33	1,66	1,38343	22,9	47,3	17,2
0,7810	2,08	$9 \cdot 10^{-6}$	19,41	1,70	1,37503	21,2	43,8	21,4
0,80576	2,61	$1,2 \cdot 10^{-7}$	17,49	1,64	1,39749	24,2	52,3	18,6
0,7981	3,26— 3,56	$1,4 \cdot 10^{-6}$	17,6	1,79	1,39387	22,1	45,8	22,0
0,8024	4,210 (293)	—	16,36	1,7	1,3949 (293)	23,0	50,2	19,7
0,8098	3,41	$5 \cdot 10^{-8}$	14,4	1,62	1,40796	25,2	56,9	21,0
0,8105	3,50— 3,96	$1,1 \cdot 10^{-7}$	14,7	1,82	1,40781	23,9	58,2	22,6
0,8155	4,46	$5 \cdot 10^{-8}$	12,5	1,64	1,4158	24,0	62,8	22,1
0,8188	5,71	$1 \cdot 10^{-7}$	11,1	1,71	1,42351	—	—	22,8
0,8221	7,30	$1 \cdot 10^{-8}$	9,8	1,67	1,42749	25,6	72,9	26,3
0,8551 (288)	1,486 (288)	$7 \cdot 10^{-4}$	21,6 (288)	1,60	1,41266 (293)	25,3	54,6	17,1

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
Спирты				
Циклогексанол	CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> OH	100,16	298,30	434,25
Бензиловый спирт	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> OH	108,14	257,85	478,60
Этиленгликоль	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	62,07	260,15	470,45
Триметиленгликоль	HO(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH	76,10	241,15	487,37
Пропиленгликоль	CH <sub>3</sub> CHONCH <sub>2</sub> OH	76,10	223,15	461,35
Диэтиленгликоль	(HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O	106,12	266,65	517,95
Триэтиленгликоль	(CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub>	150,18	268,85	561,15
Глицерин	CH <sub>2</sub> OHCHONCH <sub>2</sub> OH	92,10	291,33	561,5
Углеводороды, замещенные				
Нитрометан	CH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	61,04	244,60	374,35
Дихлорметан	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84,93	178,01	312,90
Хлороформ	CHCl <sub>3</sub>	119,38	206,60	334,30
Бромоформ	CHBr <sub>3</sub>	252,73	281,20	422,70
Четыреххлористый углерод	CCl <sub>4</sub>	153,82	250,16	349,90
Этилбромид	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br	108,97	154,55	311,54
Этилиодид	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> I	155,97	162,05	345,45
Нитроэтан	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	75,07	183,15	387,15
1,1-Дихлорэтан	CH <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	98,96	176,55	330,46
1,2-Дихлорэтан	CH <sub>2</sub> ClCH <sub>2</sub> Cl	98,96	237,28	356,63
1-Нитропропан	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	89,09	168,59	404,53
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,18	177,81	341,89
Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,21	182,55	371,58
Циклогексан	CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub>	84,16	279,69	353,88
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	278,68	353,22
Толуол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	92,14	178,16	383,77
Этилбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	106,17	178,18	409,34
Фторбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> F	96,10	231,09	357,90
Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112,56	227,57	404,84

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H \neq \eta$
Спирты								
0,94155 (303)	41,07 (303)	—	15,0	1,9	1,46472	33,9	62,0	45,3
1,0424	5,39	—	13,1	1,66	1,5371	39,4	50,5	22,0
1,1101	16,63	$3 \cdot 10^{-5}$	38,5	2,30	1,4305	45,9	(T <sub>кип</sub> ) 57,1	29,4
1,0547 (293)	—	—	35,0 (293)	2,50	1,4396 (293)	45,2	(T <sub>кип</sub> ) 57,9	—
1,0328	45,66 (293)	—	32,0 (293)	2,25	1,4331 (293)	—	(T <sub>кип</sub> ) —	—
1,1130	27,25	$6 \cdot 10^{-5}$	29,6	2,69	1,4461	44,8	52,3 (T <sub>кип</sub> )	35,7
1,1235 (293)	49,0 (293)	—	23,4	2,99	1,4568 (293)	45,1	71,4 (T <sub>кип</sub> )	—
1,2582	945	$1,6 \cdot 10^{-6}$	42,5	2,66	1,47352	62,2	88,1 (328)	61,3
углеводороды								
1,1313	0,612	$5 \cdot 10^{-7}$	36,7	3,17	1,37949	36,25	34,4 (T <sub>кип</sub> )	7,49
1,31678	0,413	$4,3 \cdot 10^{-9}$	8,93	1,55	1,42456 (293)	27,3	28,0	6,76
1,47998	0,540	$< 1 \cdot 10^{-8}$	4,724	1,15	1,4433	26,5	29,4 (T <sub>кип</sub> )	7,33
2,86460 (303)	1,89	$< 2 \cdot 10^{-6}$	4,39 (293)	0,99	1,5482 (293)	31,7 (293)	43,5	9,56
1,58429	0,9019	$4 \cdot 10^{-18}$	2,227	0,00	1,4559	25,1	30,0 (T <sub>кип</sub> )	9,81
1,4505	0,371	$< 2 \cdot 10^6$	9,01	1,84	1,42581	23,4	26,7	8,42
1,9245	0,565	$< 2 \cdot 10^{-6}$	7,64	1,72	1,51369 (293)	28,2	33,2	8,55
1,0448	0,661	$5 \cdot 10^{-5}$ (303)	28,06 (303)	3,19	1,39015	31,3	38,1	—
1,1679	0,505	—	10,86 (289)	1,91	1,41975 (288)	24,2	30,8	7,12
1,24554	0,7834	$3 \cdot 10^{-8}$	10,27	1,79	1,44759	30,5	34,3	8,50
0,99546	0,798	$3,3 \cdot 10^{-5}$	23,24 (303)	3,66 (газ)	1,39936	29,3	43,4	—
0,65482	0,2923	$1 \cdot 10^{-16}$	1,878	0,08	1,37226	18,0	31,5	6,30
0,67951	0,3903	$< 1 \cdot 10^{-13}$	1,927	0,00	1,38512	19,9	36,5	6,91
0,77374	0,898	—	2,020	0,00	0,42366	24,35	33,0	11,8
0,87360	0,6028	$< 1 \cdot 10^{-15}$	2,275	0,00	1,49796	28,2	33,9	9,74
0,86231	0,5516	$< 1 \cdot 10^{-12}$	2,379	0,39	1,49414	27,9	38,0	8,20
0,86264	0,6373	—	2,412 (293)	0,39	1,49330	28,5	42,2	8,29
1,0153	0,584 (293)	—	5,42	1,44	1,46573 (293)	27,4	32,2 (292)	7,92
1,1016	0,744	$3 \cdot 10^{-8}$	5,621	1,56	1,52195	32,9	41,0	8,32

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
Бромбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Br	157,01	242,33	429,06
Иодбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> I	204,01	241,75	461,75
Нитробензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	123,11	278,91	483,95
м-Ксилол	м-C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	106,17	225,28	412,25
о-Дихлорбензол	о-C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	147,00	244,75	445,15

Простые				
Диэтиловый эфир	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	74,12	156,85	307,63
Дипропиловый эфир	(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> O	102,18	151,15	363,25
Диизопропиловый эфир	[(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH] <sub>2</sub> O	102,18	187,65	341,45
Этилбутиловый эфир	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	102,18	—	365,85
Дибутиловый эфир	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>2</sub> O	130,23	177,78	415,12
Дипентиловый эфир	(C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>2</sub> O	158,29	203,72	459,90
Диметоксиметан (метилаль)	CH <sub>2</sub> (OCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	76,10	168,15	315,45
1,1-Диметоксиэтан	CH <sub>3</sub> CH(OCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	90,12	160,15	337,65
1,1-Диэтоксиэтан (ацеталь)	CH <sub>3</sub> CH(OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	118,18	—	376,85
Монометиловый эфир этиленгликоля (2-метоксиэтанол)	CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	76,10	188,05	397,75
Моноэтиловый эфир этиленгликоля (2-этоксиэтанол)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	90,12	—	407,95
Диметиловый эфир этиленгликоля (1,2-диметоксиэтан, глим)	(CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	90,12	215,15	357,65
Диэтиловый эфир этиленгликоля (1,2-диэтоксиэтан)	(CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	118,18	199,15	396,65
Монометиловый эфир диэтиленгликоля (метилкарбитол)	CH <sub>3</sub> O(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	120,15	—	466,35
Диметиловый эфир диэтиленгликоля (диглим)	(CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O	134,18	209,15	436,15 (с разл.)

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
1,4882	1,13 (293)	$1,2 \cdot 10^{-9}$	5,40	1,57	1,5601 (293)	35,7	37,9 (T <sub>кип</sub> )	9,20
1,831	1,69 (293)	—	4,62 (293)	1,39	1,6202 (293)	37,1	—	10,6
1,1985	1,838	$2 \cdot 10^{-8}$	34,82	4,22	1,5506	42,8	48,8	12,7
0,89990	0,581	$< 1 \cdot 10^{-13}$	2,266 (293)	0,37	1,49464	28,1	42,7	8,01
1,3007	1,275	$6 \cdot 10^{-8}$	9,93	2,26	1,54911	—	39,7 (T <sub>кип</sub> )	10,2
эфирь								
0,70760	0,237	$1 \cdot 10^{-11}$	4,22	1,20	1,35272 (293)	15,9	26,7	5,16
0,75178	0,448 (288)	—	3,4	1,13	1,38296 (288)	19,9	—	7,60
0,7182	0,379	—	3,88	1,26	1,36618	17,4	29,2	—
0,7448	0,397	—	—	1,24	1,38175 (293)	—	—	7,52
0,76461	0,643	—	3,06	1,22	1,39685	22,5	36,9 (T <sub>кип</sub> )	9,36
0,77924	0,922 (303)	—	2,77	1,04	1,40895	24,3	—	11,4
0,8541	0,329	—	2,71	0,74	1,3497	20,4	28,6 (T <sub>кип</sub> )	—
0,8446	0,3760	$1 \cdot 10^{-7}$	4,26	—	1,3668 (293)	—	—	—
0,8254	0,43 (293)	—	3,80	1,64	1,3682	21,3 (295)	32,7 (T <sub>кип</sub> )	—
0,9601	1,535	—	15,95 (303)	2,12	1,4024 (293)	31,8	45,2	—
0,9227	(293)	$1,8 \cdot 10^{-4}$	—	2,08	1,40751 (293)	—	—	—
0,8612	0,408	$< 1 \cdot 10^{-7}$	7,07	1,72	1,3781	—	—	7,20
0,848	—	—	—	1,63	1,3860	—	—	—
1,027	—	—	—	—	1,4264 (293)	—	—	—
0,9398	1,011	$5 \cdot 10^{-7}$	7,2	—	1,4073 (293)	—	—	11,2

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
Моноэтиловый эфир диэтиленгликоля (этилкарбитол)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH	134,18	—	475,05
Диэтиловый эфир диэтиленгликоля (диэтилкарбитол)	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O	162,23	229,15	462,15
Диметиловый эфир триэтиленгликоля (триглим)	CH <sub>3</sub> O(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	178,23	—	495,15
Диметиловый эфир тетраэтиленгликоля (тетраглим)	CH <sub>3</sub> O(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	206,28	—	392,15 (2 мм рт. ст.)
Анизол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OCH <sub>3</sub>	108,14	235,65	426,85

## Сложные

Триметилборат	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	103,91	244,15	341,15
Триэтилборат	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	145,99	—	393,15
Трибутилборат	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	230,16	203,15	505,55
Диэтилкарбонат	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	118,13	230,15	398,95
Триэтилфосфит	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	166,16	—	429,65
Триэтилфосфат	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	182,16	—	489,15
Трибутилфосфат	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	266,32	193,15	562,15
Метилформиат	HCOOCH <sub>3</sub>	60,05	174,15	304,65
Этилформиат	HCOOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	74,08	193,75	327,3
Метилацетат	CH <sub>3</sub> COOCH <sub>3</sub>	74,08	175,10	329,47
Этилацетат	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	88,11	189,18	350,25
Пропилацетат	CH <sub>3</sub> COOC <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	102,13	178,15	374,70
Бутилацетат	CH <sub>3</sub> COOC <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	116,16	199,65	399,26
Пентилацетат	CH <sub>3</sub> COOC <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	130,19	—	422,35
Метилхлорацетат	CH <sub>2</sub> ClCOOCH <sub>3</sub>	108,52	240,45	404,65
Диметилфталат	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	194,19	274,15	553,15
Диэтилфталат	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	222,24	233,15	569,25
Дибутилфталат	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOC <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>2</sub>	278,35	238,15	613,15

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\epsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
0,9855	—	—	—	—	1,4254	—	—	—
0,906	—	—	5,7	—	1,4115 (293)	—	—	—
0,09811	2,16	—	—	—	—	—	—	14,7
1,0071	3,67	—	—	—	—	—	—	17,8
0,98932	1,008	$1 \cdot 10^{-11}$	4,33	1,27	1,5143	34,8	36,8 (T <sub>кип</sub> )	10,1

## эфирь

0,915	—	—	8,0 (293)	—	1,3568	—	—	—
0,855(301)	—	—	—	—	1,3749	—	—	—
0,8535	1,601	—	—	—	1,4071	25,8	56,1	13,8
0,96926	0,748	$9 \cdot 10^{-8}$	2,82 (293)	1,06	1,38287	26,0	36,1 (T <sub>кип</sub> )	9,70
0,9610	0,650	$9 \cdot 10^{-7}$	5,01 (293)	1,88	1,4127 (293)	—	—	—
1,06826	2,147	$1,2 \cdot 10^{-6}$	12,94	3,07	—	—	—	12,7
0,9730	3,366	$8,3 \cdot 10^{-7}$	8,16	3,06	1,4226 (293)	27,2	61,4 (T <sub>кип</sub> )	17,2
0,97421	0,328	—	8,5 (293)	1,80	1,34322 (293)	23,9	28,2 (T <sub>кип</sub> )	5,60
0,91247	0,3868	$1 \cdot 10^{-6}$	7,16	1,96	1,35994 (293)	23,1	30,1 (T <sub>кип</sub> )	6,87
0,9273	0,3610	$9 \cdot 10^{-8}$	6,91	1,75	1,36193 (293)	23,8	30,4 (T <sub>кип</sub> )	6,54
0,89451	0,4261	$1 \cdot 10^{-7}$	6,02	1,81	1,36979	23,0	32,3 (T <sub>кип</sub> )	7,79
0,88303	0,551	—	5,60 (293)	1,86	1,38442 (293)	24,3 (293)	34,3 (T <sub>кип</sub> )	8,48
0,87636	0,688	—	5,04	1,84	1,39406 (293)	24,6	35,9 (T <sub>кип</sub> )	8,83
0,8707	0,862	$1,6 \cdot 10^{-7}$	4,81 (292)	1,91	1,40228 (293)	25,3	—	9,35
1,2276	1,048	$5 \cdot 10^{-7}$	12,9 (294)	—	—	—	—	11,0
1,1865	13,92	$8,1 \cdot 10^{-7}$	8,37	2,77	1,5149 (293)	—	—	31,1
1,1160	10,82	$1 \cdot 10^{-7}$	7,53	2,60	1,5022 (293)	—	—	26,0
1,0426	16,55	$9 \cdot 10^{-9}$	6,36	2,4	1,4929 (293)	—	79,2 (T <sub>кип</sub> )	28,8

Растворитель	Формула	M	T <sub>пл</sub>	T <sub>кип</sub>
Дипентилфталат	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOC <sub>5</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>2</sub>	306,40	—	—
Циклические эфиры				
Тетрагидрофуран	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	72,11	164,65	339,11
2-Метилтетрагидрофуран	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	86,13	—	—
1,3-Диоксолан	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	74,08	178,15	350,65
1,4-Диоксан	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	88,11	284,95	374,47
γ-Бутиролактон	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO} \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	86,09	229,62	477,15
γ-Валеролактон	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO} \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	100,12	242,15	479,65
Этиленкарбонат	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCO} \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	88,06	309,55	521,15
Пропиленкарбонат	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCO} \\   \quad \quad   \\ \text{O} \end{array}$	102,09	218,62	515,15

Свойства широкого круга неорганических и органических растворителей при температуре 298,15 К приведены в табл. 1.2—1.4.

В табл. 1.2 неорганические растворители расположены в соответствии с положением образующих их элементов в группах Периодической системы Д. И. Менделеева, органические растворители — по классам органических соединений (классы в свою очередь расположены по алфавиту), причем в пределах каждого класса алифатические соединения предшествуют ароматическим.

Если свойство измерено при температуре, отличной от 298,15 К, это указывается рядом в скобках. При этом всюду (и далее в книге) поправка 0,15 К опускается, если приводится целочисленное значение температуры (например, 233 К на самом деле следует читать как 233,15 К). При дробных значениях температуры эта поправка уже учтена. Единицы измере-

$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	$\varepsilon$	$\mu$	$n_D$	$\sigma \cdot 10^3$	$\Delta H_{исп}$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
1,0230	27,58	$6,2 \cdot 10^{-10}$	5,96	—	1,4885 (293)	—	—	36,2
и лактоны								
0,8819	0,4583	$4 \cdot 10^{-9}$	7,4	1,75	1,4036	—	34,3	6,86
0,8475	0,4653	—	6,20	—	—	—	—	—
1,0799	0,714	$1,9 \cdot 10^{-6}$	9,80	1,40	1,4022	—	—	8,15
1,02805	1,204	$5 \cdot 10^{-13}$	2,21	0,45	1,4203	34,7	35,7	11,6
1,1243	1,732	$1,5 \cdot 10^{-6}$	41,6	3,97	1,4348	—	—	11,2
1,047	—	$1 \cdot 10^{-6}$	35,64	4,30	—	—	—	—
1,3202 (313)	1,946 (313)	$1,5 \cdot 10^{-5}$ (313)	90,36 (313)	4,93	1,4203 (313)	—	—	12,5
1,1998	2,510	$5,4 \cdot 10^{-7}$	65,0	4,98	1,4194	—	42,8	14,9

ния свойств также всюду опущены, поскольку они приводятся в списке сокращений.

## 1.2. ДОНОРНЫЕ И АКЦЕПТОРНЫЕ ЧИСЛА. НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ЭМПИРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

В процессах взаимодействия, протекающих в системе растворенное вещество — растворитель, важная роль принадлежит сольватации. В соответствии с данным в работах Г. А. Крестова [13, 14] определением под сольватацией понимается вся сумма энергетических и структурных изменений, происходящих в системе в процессе перехода газообразных молекул, ионов, радикалов или атомов в жидкую фазу, исключая те изменения, которые сопровождаются разрывом химических связей в атомно-молекулярных объектах и молекулах растворителя. Таким образом, сольватация — это сложный процесс, охватывающий

Таблица 1.3. Свойства низкотем

Соль	Формула
Нитрат лития	LiNO <sub>3</sub>
Хлорат лития	LiClO <sub>3</sub>
Перхлорат лития	LiClO <sub>4</sub>
Роданид калия	KSCN
Тетрафторборат тетрапропиламмония	(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> NBF <sub>4</sub>
Гексафторфосфат тетрапропиламмония	(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> NPF <sub>6</sub>
Тетрафенилборат тетрапропиламмония	(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> NB(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub>
Бромид тетрабутиламмония <sup>а</sup>	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NBr
Иодид тетрабутиламмония	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NI
Тетрафторборат тетрабутиламмония	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NBF <sub>4</sub>
Гексафторфосфат тетрабутиламмония	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NPF <sub>6</sub>
Тетрафенилборат тетрабутиламмония	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NB(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub>
Пикрат тетрабутиламмония	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NC <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> O
Роданид тетрапентиламмония	(C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>4</sub> NCSN
Тетрафторборат тетрагексилламмония	(C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> ) <sub>4</sub> NBF <sub>4</sub>
Бензоат тетрагексилламмония	(C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> ) <sub>4</sub> NC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CO <sub>2</sub>
<i>n</i> -Толуолсульфонат триоктиламмония <sup>б</sup>	[(C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> ) <sub>3</sub> HN][CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> ]
<i>n</i> -Толуолсульфонат бутилтриоктиламмония <sup>в</sup>	[(C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> N][CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> ]
Пикрат тетраоктиламмония <sup>г</sup>	(C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> ) <sub>4</sub> NC <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> O

Примечание. Значком \* отмечены соли, являющиеся жидкостями при комнатной

разнообразные типы химического взаимодействия между растворителем и растворенными частицами. Еще более сложными по механизму являются процессы донорно-акцепторного (кислотно-основного) взаимодействия, включающие в себя сольватацию в качестве составной части. Именно по этой причине невозможно выбрать какие-то отдельные физические константы растворителя ( $\mu$ ,  $\epsilon$  и т. п.) в качестве количественной меры его донорно-акцепторной либо сольватирующей способности (полярности)\*. Поскольку в настоящее время отсутствуют также и надежные теоретические методы, с помощью которых можно однозначно охарактеризовать кислотно-основные свойства растворителей, для количественного учета влияния среды приходится использовать различные эмпирические параметры. Получившие наибольшее распространение шкалы эмпирических

\* Как об этом упоминалось ранее, в некоторых работах [4, 5] сольватирующая способность и полярность растворителя отождествляются друг с другом.

пературных расплавленных солей

M	T <sub>пл</sub>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^4$	$\kappa$	$\Delta H_{\eta}^{\neq}$
68,94	527,15	1,768(550)	5,85(550)	92,8(550)	—
90,39	400,95	2,0832(410)	29,14(410)	12,72(410)	31,0
106,39	509,15	2,011(533)	—	77,3(533)	—
97,18	445,15	1,5981(450)	11,8(450)	14,4(450)	26,5
273,17	521,15	0,9067(530)	2,06(530)	9,546(530)	25,6
331,33	510,15	1,0757(520)	2,99(520)	6,941(520)	27,1
505,60	478,85	0,9310(490)	8,65(490)	1,11(490)	36,7
322,38	392,65	1,0078(393)	89,6(393)	0,236(400)	—
369,38	419,15	1,0921(421,95)	27,0(421,95)	0,553(421,95)	—
329,28	435,15	0,9349(440)	9,00(440)	1,475(440)	30,6
387,44	520,15	0,9777(530)	2,84(530)	4,190(530)	30,0
561,71	509,65	0,8864(520)	4,59(520)	1,367(520)	34,5
470,57	362,55	1,105(364)	57,0(364)	0,181(364)	—
356,66	323,65	0,9030(325)	323,4(325)	0,0311(325)	45,0
441,49	364,15	0,9103(380)	82,61(380)	—	41,2
475,81	*	0,90	—	5,56·10 <sup>-3</sup>	—
525,89	315,15	0,9489(323)	256,7(323)	3,56·10 <sup>-3</sup> (323)	44,2
581,99	*	0,9651	7185	3,49·10 <sup>-4</sup>	60,5
695,01	*	1,0230	1456	2,616·10 <sup>-3</sup>	63,1

температуре. <sup>а</sup>  $\mu=11,6$ . <sup>б</sup>  $\epsilon=5,80$ . <sup>в</sup>  $\epsilon=6,44$ . <sup>г</sup>  $n_D=1,5350$  (308 K).

параметров растворителей ( $DN$ ,  $AN$ ,  $E_T$ ,  $V_{PHON}$  и т. п.) основаны на калориметрических либо спектроскопических исследованиях, суть которых состоит, соответственно, в измерении тепловых эффектов растворения реперного соединения в подходящем инертном растворителе либо сопоставлении спектральных характеристик реперного соединения в стандартном и исследуемом растворителе. Эти эмпирические параметры приведены в табл. 1.5.

**Корреляционные уравнения для оценки сольватирующей способности растворителей.** Для более полного учета влияния растворителя на свойства растворенного вещества в литературе описан ряд корреляционных уравнений, включающих несколько параметров.

Фосетт и Криговский [15] предложили двухпараметровое уравнение:

$$A = A_0 + aE_T + bDN,$$

где  $A$  — какой-либо физико-химический параметр или наблюдаемые характеристики процесса в данном растворителе;  $A_0$  — значение параметра в отсутствие растворителя (измеряется в газовой фазе либо вычисляется).

Таблица 1.4. Криоскопические константы некоторых неводных растворителей

Растворитель	K	Библиогр. ссылка
Ацетамид	3,8	[6]
Бензол	5,089	[6]
трет-Бутанол	8,38	[6]
Гексаметилфосфортриамид	6,93±0,07	[6]
Диметилсульфоксид	4,07; 4,4	[6]
N-Метилацетамид	5,77; 5,98	[7]
N-Метилпропионамид	4,7	[8]
Муравьиная кислота	1,932	[6]
Пиридин	4,97	[6]
Пропиленкарбонат	4,38±0,16	[9]
Серная кислота	6,12	[10]
Сульфолан	64,1	[6]
	66,2+0,6	[11]
Трихлорид сурьмы	15,1	[12]
Уксусная кислота	3,59	[6]
Формамид	2,57	[6]
Циклогексан	20,0	[6]
Циклогексанол	39,0	[6]
Этилендиамин	2,43	[6]
Этиленкарбонат	5,40	[6]

Коппель и Пальм [16] использовали для этой цели уже четырехпараметровое уравнение:

$$A = A_0 + a \frac{\varepsilon - 1}{2\varepsilon + 2} + b \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} + cE + dV_{CH_3OD}$$

Значения E для различных растворителей находят из параметра E<sub>T</sub> по уравнению:

$$E = E_T - 25,57 - 14,39 \frac{\varepsilon - 1}{2\varepsilon + 1} + 9,08 \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$$

В работе [27] для оценки сольватирующих свойств растворителя предложено пятипараметровое уравнение, в которое дополнительно включен параметр когезии δ<sup>2</sup>.

### 1.3. КОНСТАНТЫ АВТОИОНИЗАЦИИ

Любое жидкое вещество в той или иной степени подвергается автоионизации с образованием ионов лиония и лиата:

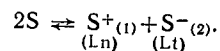


Таблица 1.5. Эмпирические параметры полярности и донорно-акцепторной способности растворителей [5, 17—36]

Растворитель	DN	AN	V <sub>PhOH</sub>	V <sub>CH<sub>3</sub>OD</sub>	E <sub>T</sub>	Z	S	δ
Аммиак	59,0	—	—	—	—	—	—	—
Анизол	—	—	—	78	37,2	—	-0,214	—
Анилин	—	—	346	210	44,3	—	0,001	—
Ацетилхлорид	0,7	—	—	—	—	—	—	—
Ацетон	17,0	12,5	224	116	42,2	65,5	-0,1748	9,66
Ацетонитрил	14,1	19,3	160	101	46,0	71,3	-0,1039	11,8
Ацетофенон	—	—	—	108	41,3	—	—	10,4
Бензиловый спирт	—	—	—	166	50,8	—	—	—
Бензилцианид	15,1	—	—	—	—	—	—	—
Бензоилфторид	2,0	—	—	—	—	—	—	—
Бензоилхлорид	2,3	—	—	—	—	—	—	—
Бензол	0,1	8,2	48	—	34,5	54	-0,215	9,15
Бензонитрил	11,9	15,5	155	90	42,0	65,0	—	—
Бромбензол	—	—	40	51	37,5	59,2	-0,164	—
Бромформ	—	—	—	—	—	—	-0,042	10,6
n-Бутанол	—	36,8	—	160	50,2	77,7	-0,0240	10,7
втор-Бутанол	—	—	—	—	47,1	—	—	—
трет-Бутанол	—	—	—	—	43,9	71,3	-0,1047	10,5
					(303)			
изо-Бутиламин	57,0	—	—	—	—	—	—	—
γ-Бутиролактон	18	18,6	—	—	—	—	—	—
Бутиронитрил	16,6	—	—	—	—	—	—	—
изо-Бутиронитрил	15,4	—	—	—	—	—	—	—
Вода	18,0	—	—	—	—	—	—	—
	(г)							
	≈20(ж)	54,8	156	123	63,1	94,6	0,1540	23,4
Гексаметилфосфортриамид	38,8	10,6	471	234	40,9	62,8	—	—
Гексан	0	0	—	—	30,9	—	-0,337	7,24
Гидразин	44	—	—	—	—	—	—	—
Глим	24	≈10	238	123	38,2	59,1	—	—
Дибутиловый эфир	—	—	285	129	33,4	—	-0,286	—
Диглим	≈24	10,2	—	—	38,6	—	—	—
N,N-Диметиланилин	—	—	422	—	—	—	—	—
N,N-Диметил-ацетамид	27,8	13,6	343	165	43,7	66,9	—	—
Диметилкарбонат	15,2	—	136	—	—	—	—	—
2,6-Диметилпиридин	—	—	—	—	36,7	—	—	—
Диметилсульфоксид	29,8	19,3	362	193	45,0	71,1	—	—
N,N-Диметил-формамид	26,6	16,0	291	159	43,8	68,4	-0,1416	—
2,6-Диметилфенол	—	—	—	—	47,6	—	—	—
1,4-Диоксан	14,8	10,8	237	129	36,0	—	-0,179	9,73
Дипропиловый эфир	17,8	—	279	—	—	—	—	—
Ди-изо-пропиловый эфир	—	—	—	127	34,0	—	-0,229	7,14

## Продолжение

Растворитель	DN	AN	$V_{PhOH}$	$V_{CH_3OD}$	$E_T$	Z	S	$\delta$
Дифениловый эфир	—	—	—	—	35,3 (303)	—	—	—
Дифенилфосфорилхлорид	22,4	—	—	—	—	—	—	—
o-Дихлорбензол	—	—	—	—	—	60,0	—	—
Дихлорметан	—	20,4	—	40	—	—	—	—
1,2-Дихлорэтан	0	16,7	40	54	41,9	63,4	-0,151	9,91
цис-1,2-Дихлорэтилен	—	—	—	—	—	63,9	—	—
Дихлорэтиленкарбонат	3,2	16,7	—	—	—	—	—	—
N,N-Диэтилацетамид	32,2	—	355	—	—	—	—	—
Диэтиленгликоль	—	—	—	—	53,8	—	—	—
Диэтилкарбонат	16,0	—	145	—	—	—	—	—
Диэтилкетон	—	—	—	—	39,3	—	—	—
Диэтиловый эфир	19,2	3,9	280	129	34,6	—	-0,277	7,74
Диэтиловый эфир диэтиленгликоля	—	—	—	—	37,5	—	—	—
N,N-Диэтилформамид	30,9	—	—	—	—	—	—	—
Иодбензол	—	—	—	49	37,9	—	—	—
Метанол	19,1	41,3	280	—	55,6	83,6	0,0449	14,45
Метансульфокислота	—	126,1	—	—	—	—	—	—
N-Метилацетамид	—	—	—	—	52,0 (303)	77,9	—	—
Метилацетат	16,5	—	170	—	—	—	—	—
Метиленбромид	—	—	—	—	—	—	-0,095	10,7
Метилениодид	—	—	—	—	—	—	-0,043	11,8
Метилиодид	—	—	—	—	—	—	-0,170	9,9
2-Метилпиридин	—	—	—	—	38,3	—	—	—
N-Метил-2-пирролидон	27,3	13,3	—	—	42,2	—	—	—
N-Метилпропионамид	27	—	—	—	—	—	—	—
2-Метилтетрагидрофуран	18,0	—	—	—	—	—	—	—
N-Метилформамид	—	32,1	—	—	54,1	—	—	—
Метилэтилкетон	17,4	—	209	109	41,3	—	—	—
Монометиловый эфир этиленгликоля	—	—	—	—	52,3	—	—	—
Моноэтаноламин	—	33,7	—	—	51,8	—	—	—
Муравьиная кислота	—	—	—	—	—	—	0,1139	—
Нитробензол	4,4	14,8	67	73	42,0	—	-0,218	10,4
Нитрометан	2,7	20,5	—	58	46,3	71,2	-0,134	12,6
Нитроэтан	—	—	—	60	43,6	—	—	—
изо-Пентанол	—	—	—	—	47,0	—	—	—
Пиперидин	—	—	—	—	35,5	—	—	—

## Продолжение

Растворитель	DN	AN	$V_{PhOH}$	$V_{CH_3OD}$	$E_T$	Z	S	$\delta$
Пиридин	33,1	14,2	472	220	40,2	64,0	-0,1970	10,6
n-Пропанол	—	37,3	—	—	50,7	78,3	-0,0158	12,0
изо-Пропанол	—	33,5	—	—	48,6	76,3	-0,0413	11,5
Пропиленкарбонат	15,1	18,3	—	—	46,6	—	—	—
Пропилхлорид	—	—	—	—	—	37,4	—	—
Пропионитрил	16,1	—	162	—	—	—	—	—
Селена хлороксид	12,2	—	—	—	—	—	—	—
Сероуглерод	—	—	—	—	—	32,6	-0,240	10,0
Сульфолан	14,8	19,2	157	—	44,0	77,5	—	—
Сульфурилхлорид	0,1	—	—	—	—	—	—	—
Сурьмы пентахлорид	—	100,0	—	—	—	—	—	—
Тetraгидрофуран	20,0	8,0	287	142	37,4	58,8	—	9,32
1,1,3,3-Тетраметилгуанидин	—	—	—	—	39,3	—	—	—
Тетраметилмочевина	29,6	—	—	—	41,0	—	—	—
2,2,3,3-Тетрафторпропанол	—	—	—	—	59,4	86,3	—	—
Тетрахлорэтилен	—	—	—	—	—	—	-0,263	9,3
Тетрахлорэтиленкарбонат	0,8	—	—	—	—	—	—	—
Тионилхлорид	0,4	—	—	—	—	—	—	—
Толуол	—	—	58	54	33,9	—	-0,237	8,91
Трибутилфосфат	23,7	9,9	—	—	—	—	—	—
Триглим	—	—	—	—	38,9	61,3	—	—
Триметилфосфат	23,0	—	—	—	—	—	—	—
Триформетансульфокислота	—	129,1	—	—	—	—	—	—
Трифторуксусная кислота	—	105,3	—	—	—	—	—	—
Триэтиламин	61,0	—	—	290	33,3	—	-0,285	—
Триэтиленгликоль	—	—	—	—	53,5	—	—	—
Уксусная кислота	—	52,9	131	98	51,2	79,2	0,0050	—
Уксусный ангидрид	10,5	—	100	—	43,9	—	—	—
Фенетол	—	—	—	—	36,4	58,9	—	—
Фенилфосфорилфторид	16,4	—	—	—	—	—	—	—
Фенилфосфорилхлорид	18,5	—	—	—	—	—	—	—
Формаид	—	39,8	—	—	56,6	83,3	0,0463	—
Фосфорилхлорид	11,7	—	—	—	—	—	—	—
Фторбензол	—	—	—	34	38,1	60,2	—	—
Хинолин	—	—	—	267	39,4	—	—	—
Хлорбензол	—	—	38	50	37,5	58,0	-0,182	9,50
Хлороформ	—	23,1	—	35	39,1	63,2	-0,2000	9,24
Циклогексан	—	—	—	—	31,2	60,1	-0,324	8,18
Циклогексанон	17,8	—	242	118	40,8	—	—	—
Четыреххлористый углерод	0,0	8,6	0	31	32,5	—	-0,245	8,58



Продолжение

Растворитель	DN	AN	$V_{\text{PhOH}}$	$V_{\text{CH}_3\text{OD}}$	$E_T$	Z	S	$\delta$
Этанол	19,6	37,9	235	—	51,9	79,6	0,0000	12,9
Этиламин	55,5	—	—	—	—	—	—	—
Этилацетат	17,1	—	181	91	—	—	—	—
Этилбромид	—	—	—	—	37,6	—	—	—
Этиленгликоль	—	—	—	—	56,3	85,1	0,0679	14,5
Этилендиамин	55	20,9	—	—	42,0	—	—	—
Этиленкарбонат	16,4	—	—	—	—	—	—	—
Этиленсульфит	15,3	—	—	—	—	—	—	—

Константа автоионизации (в частном случае — автопротолиза) растворителя, равная произведению активностей образующихся ионов

$$K_i = a_{\text{Ln}} a_{\text{Lt}},$$

представляет собой важную термодинамическую величину, которая характеризует протяженность шкалы кислотности растворителя и определяет оптимальные условия кислотно-основного титрования [3, 37]. Константу автоионизации ( $pK_i$ ) индивидуальных веществ (см. подробно в разд. 2.2) обязательно следует учитывать при рассмотрении возможных схем процесса кислотно-основного взаимодействия в двухкомпонентных системах.

В ряду растворителей сходного типа (в частности, протолитических растворителей)  $pK_i$  уменьшается с ростом диэлектрической проницаемости растворителя и понижением энергии сродства лиат-ионов к протону, т. е. с увеличением полярности и кислотности растворителя. Поэтому константа автоионизации характеризует также сольватирующую способность растворителя по отношению к растворенным веществам. Чем больше  $pK_i$  растворителя, тем сильнее диссоциированы в нем электролиты и, следовательно, тем слабее (при прочих равных условиях) выражено его дифференцирующее действие на силу электролитов.

Для улучшения условий кислотно-основного титрования часто применяют не индивидуальные, а смешанные растворители. В смеси растворителей существует уже не одно, а несколько равновесий. В этом случае под константой автоионизации среды подразумевают произведение сумм активностей лионий- и лиат-ионов.

Методы определения констант автоионизации индивидуальных и смешанных растворителей подробно изложены в работах [38—40]. Значения  $pK_i$  для ряда индивидуальных и смешанных растворителей приведены в табл. 1.6 и 1.7.

Таблица 1.6. Константы автоионизации ( $pK_i$ ) некоторых неводных растворителей (298 К)

Растворитель	$pK_i$	Библиогр. ссылка	Растворитель	$pK_i$	Библиогр. ссылка
Аммиак	32,7	[3]	Уксусный ангидрид	14,5	[6]
Гидразин	24,7	[3]	Ацетонитрил	33,3	[37]
Фтороводород	10,5	[6]	Диметилсульфоксид	32,2	[3, 6]
Фосфорная кислота	0,8	[6]		33,3	[37]
Серная кислота	3,57	[6]		28,0	[41]
Дейтеросерная кислота	4,34	[6]	Сульфолан	25,45	[3]
Фторсульфовая кислота	7,4	[6]	Метанол	16,60	[6]
			Этанол	18,80	[6]
Селеновая кислота	2	[6]		19,5	[37]
Формамид	17,0	[6]	<i>n</i> -Пропанол	19,24	[6]
	20,7	[39]	<i>изо</i> -Пропанол	20,58	[6]
Ацетамид	10,5	[6]		22,0	[37]
	14,6	[6]	<i>n</i> -Бутанол	21,56	[6]
Диметилформамид	29,40	[3]	<i>n</i> -Пентанол	20,65	[6]
	31,6		<i>n</i> -Гексанол	19,74	[6]
Диметилацетамид	31,2	[37]	<i>n</i> -Октанол	19,44	[6]
	30,0		Этиленгликоль	15,84	[6]
<i>N</i> -Метил-2-пирролидон	23,10	[3]	Пропиленгликоль	17,21	[6]
Этилендиамин	15,2	[6]	Диэтиленгликоль	15,60	[38]
Ацетон	32,5	[37]		17,4	[6]
Метилэтилкетон	31,0	[37]	Метан	50	[42]
Муравьиная кислота	6,17	[6]	Этилбензол	37	[42]
	6,65	[41]	Этилацетат	25,6	[42]
Уксусная кислота	12,55	[6]	Пропилацетат	25,2	[42]
	14,4	[37]	Моноэтиловый эфир этиленгликоля	19,3	[6]
	13,9	[41]	Пропиленкарбонат	29,0	[43]

Таблица 1.7. Константы автоионизации ( $pK_i$ ) в некоторых смешанных растворителях (298 К) [41]

Система	$pK_i$ при массовом содержании первого компонента, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
DMCO—НСООН	6,65	3,70	—	—	3,64	3,90	4,58	5,35	6,08	7,22	28,0
DMCO—HAc	13,9	8,64	7,78	6,92	7,09	7,42	7,61	7,60	7,69	9,47	28,0
HAc—НСООН	6,65	6,6	—	6,8	—	7,4	—	8,8	9,9	—	13,9

#### 1.4. ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Как известно [44, 45], для аппроксимации политермических данных по плотности жидкостей применяются уравнения типа

$$\rho \text{ (или } 1/\rho) = \rho_0 + at + bt^2, \quad (1.1)$$

где  $\rho_0$  — плотность жидкости при  $0^\circ\text{C}$ ;  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что с вполне удовлетворительной для большинства практических целей точностью плотность различных индивидуальных жидкостей (как ассоциированных, так и неассоциированных) в достаточно широком интервале температур описывается линейным уравнением

$$\rho = \rho_0 + at. \quad (1.2)$$

При этом различия в значениях плотности, рассчитанных по уравнениям (1.1) и (1.2), обычно не превышают 0,02%.

Уравнения, описывающие зависимость вязкости жидкостей от температуры, приводятся в ряде обзоров и монографий [46—51]. Эти уравнения можно разделить на два основных типа: 1) уравнения, имеющие вид полиномов с несколькими эмпирическими коэффициентами; 2) экспоненциальные уравнения, выведенные на основе теории свободного объема либо теории переходного состояния.

Вязкость жидкостей является структурочувствительным свойством [48]. Поэтому характер температурных изменений вязкости индивидуальных жидкостей тесно связан со степенью их ассоциации. В неассоциированных растворителях изменения вязкости в широком температурном интервале с хорошим приближением описываются экспоненциальными уравнениями (Аррениуса — Гузмана, Эйринга). В ассоциированных растворителях зависимость  $\ln \eta - 1/T$  отклоняется от линейной; чем более структурирован растворитель, тем отклонения выражены сильнее и проявляются в большем температурном интервале.

На характер изменения удельной электропроводности индивидуальных жидкостей с температурой влияет целый ряд факторов: реализующийся в данной жидкости механизм проводимости, диэлектрическая проницаемость и константа автоионизации, зависимость  $\epsilon$  и  $pK_i$  от температуры и т. д. Поэтому температурный коэффициент удельной электропроводности индивидуальных жидкостей может быть как положительным, так и отрицательным, причем даже для одной и той же жидкости он может быть разным в зависимости от выбранного для исследования температурного интервала.

Ниже приводятся политермические данные о свойствах целого ряда неорганических и органических растворителей, а также низкотемпературных расплавленных солей (знак \* относится к переохлажденному состоянию).

#### НЕОРГАНИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^4$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^4$
<i>Фосфорилхлорид [56]</i>							
274,95	1,690	—	1,26	328,15	—	0,7964	—
277,65	—	1,3817	—	330,45	1,592	—	2,14
278,25	1,684	—	1,31	335,65	1,582	—	2,21
281,15	1,678	—	1,36	338,65	—	0,7431	—
283,25	—	1,2912	—	342,95	1,570	—	2,31
283,45	1,673	—	1,40	344,15	—	0,7118	—
286,15	—	1,2457	—	348,15	1,561	—	2,38
288,95	1,663	—	1,49	350,15	—	0,6849	—
291,35	—	1,1740	—	351,85	1,554	—	2,43
292,35	1,659	—	1,54	353,35	1,552	—	2,44
294,85	1,655	—	1,58	354,15	—	0,6665	—
295,15	—	1,1119	—	356,15	1,546	—	2,46
298,15	1,648	—	1,63	359,05	—	0,6475	—
300,15	—	1,0385	—	359,35	1,541	—	2,48
300,85	1,644	—	1,67	360,95	1,538	—	2,49
302,35	1,642	—	1,70	361,15	—	0,6382	—
306,65	—	0,9709	—	363,35	1,534	—	2,48
307,35	1,632	—	1,77	365,65	1,530	0,6181	2,47
310,15	1,628	—	1,82	367,95	1,526	—	2,45
313,25	—	0,9052	—	369,15	—	0,6051	—
314,15	1,620	—	1,87	371,15	1,520	—	2,42
316,75	1,616	—	1,92	371,35	—	0,5838	—
318,15	—	0,8634	—	373,65	1,516	—	2,40
320,85	1,609	—	1,99	377,15	1,510	0,5752	2,37
324,05	—	0,8238	—	378,65	—	0,5650	—
326,45	1,599	—	2,07	378,95	1,506	—	2,35

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$
<i>Фосфорная кислота [52, 53]</i>							
273*	1,8872	834,3	1,381	343	1,8328	34,27	15,50
283*	1,8794	422,7	2,347	353	1,8253	26,19	18,35
293*	1,8716	232,2	3,746	363	1,8174	20,46	21,22
298*	1,8681	178,1	4,594	373	1,8099	16,42	23,94
303*	1,8641	140,9	5,491	383	1,8023	13,40	26,51
313*	1,8560	93,14	7,590	393	1,7945	11,11	28,83
323	1,8485	64,15	10,03	403	1,7868	9,370	30,97
333	1,8407	46,05	12,67	413	1,7791	7,968	33,08

#### *Дейтерофосфорная кислота [52]*

298	1,9083	231,8	2,818	323	1,8888	77,44	5,940
303	1,9042	182,4	3,378	328	1,8846	64,73	6,558

## Продолжение

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$
308	1,9001	147,8	3,998	333	1,8807	55,18	7,261
313	1,8959	118,7	4,632	338	1,8767	46,86	7,94
318	1,8922	95,93	5,275				

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^4$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^4$
------	----------------------	-------------------	---------------------	------	----------------------	-------------------	---------------------

## Трихлорид сурьмы [53]

323*	2,7352	3,903	2,540	398	2,5551	1,167	5,721
348	2,6752	2,458	3,567	423	2,4953	0,8602	6,825
373	2,6152	1,660	4,579				

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^6$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^6$
------	----------------------	-------------------	---------------------	------	----------------------	-------------------	---------------------

## Тионилхлорид [53]

223	1,7766	1,953	3,329	298	1,6290	0,6070	4,030
248	1,7274	1,209	3,357	323	1,5798	0,4651	3,655
273	1,6781	0,8288	3,543				

## Сульфурилхлорид [57]

248	1,7611	1,337	—	298	1,6582	0,6835	8,168
273	1,7102	0,9255	6,818	323	1,6062	0,5258	5,786

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$
------	----------------------	-------------------	----------	------	----------------------	-------------------	----------

## Серная кислота [53, 54]

273*	1,8523	71,74	0,3687	353	1,7724	5,510	4,392
283*	1,8419	44,69	0,5804	363	1,7626	4,586	5,221
293	1,8320	29,55	0,8680	373	1,7518	3,868	6,140
298	1,8266	24,52	1,044	383	1,7420	3,283	7,108
303	1,8221	20,50	1,241	393	1,7321	2,830	8,104
313	1,8118	14,69	1,705	403	1,7220	2,479	9,102
323	1,8015	10,97	2,270	413	1,7124	2,181	10,12
333	1,7919	8,471	2,894	423	1,7019	1,930	11,09
343	1,7818	6,759	3,620				

## Продолжение

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$
------	----------------------	-------------------	----------	------	----------------------	-------------------	----------

## Дейтеросерная кислота [54, 55]

280,6*	1,8743	51,5	0,1440	308	1,8473	17,44	0,3963
283*	1,8718	45,65	0,1598	313	1,8422	14,87	0,4637
288	1,8670	37,79	0,1948	318	1,8373	12,81	0,5425
293	1,8620	30,08	0,2351	323	1,8324	11,12	0,6243
298	1,8572	24,88	0,2832	333	1,8228	8,55	0,8079
303	1,8522	20,74	0,3356	343	1,8134	6,79	1,0280

## Пиросерная кислота [53]

293*	1,9832	70,16	27,56	333	1,9266	13,12	116,1
298*	1,9761	53,14	35,11	343	1,9125	9,617	148,3
303*	1,9690	41,80	43,60	348	1,9054	8,341	166,0
313	1,9550	27,03	63,52	353	1,8983	7,280	185,2
323	1,9408	18,33	87,37				

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^3$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^3$
------	----------------------	-------------------	---------------------	------	----------------------	-------------------	---------------------

## Трифторметансульфокислота [53]

233	1,8211	20,48	0,773	313	1,6701	2,08	4,355
243	1,8021	13,50	1,069	323	1,6511	1,76	4,942
253	1,7832	9,333	1,451	333	1,6318	1,50	5,540
263	1,7642	6,651	1,873	343	1,6121	1,30	6,143
273	1,7452	4,938	2,302	353	1,5933	1,14	6,751
283	1,7261	3,852	2,771	363	1,5743	1,01	7,350
293	1,7071	3,082	3,277	373	1,5552	0,910	7,922
298	1,6987	2,77	3,521	383	1,5363	0,812	8,542
303	1,6891	2,51	3,804	393	1,5173	0,739	9,104

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa$
------	----------------------	-------------------	----------	------	----------------------	-------------------	----------

## Селеновая кислота [53]

268*	2,6446	154,5	2,743	343	2,5330	9,201	18,51
273*	2,6372	114,5	3,371	353	2,5182	7,514	21,33
283*	2,6220	67,70	4,750	363	2,5030	6,255	24,20
293*	2,6071	42,82	6,388	373	2,4879	5,283	26,92
298*	2,5998	35,21	7,323	383	2,4740	4,501	28,67
303*	2,5923	29,03	8,352	393	2,4595	3,886	32,51
313*	2,5787	20,58	10,60	403	2,4450	3,404	35,22
323*	2,5629	15,13	13,04	413	2,4304	3,001	37,70
333	2,5480	11,56	15,72	423	2,4151	2,669	40,21

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^7$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^7$
<i>Бром [53, 58]</i>							
273	3,1844	1,253	1,301	303	3,0842	0,897	0,975
283	3,1510	1,107	1,197	313	3,0508	0,817	0,951
293	3,1176	0,991	1,150	323	3,0174	0,746	0,904
298	3,1009	0,942	1,103				

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$
<i>Хлорид иода [57]</i>							
$\rho \cdot 10^{-3} = 3,2931 - 3,4633 \cdot 10^{-3} (T - 273,15)$							
293*	3,3239	5,18	4,21	313	3,1546	2,72	4,64
298*	3,2064	4,33	4,40	323	3,1200	2,13	4,51
303	3,1892	3,65	4,50	333	3,0853	1,70	4,14

### ОРГАНИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ

#### *Формамид*

T, K	273*	278	298	313	323	348[59]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1496	1,1461	1,1292	—	1,1076	1,0859
$\eta \cdot 10^3$	—	5,979	3,304	2,335	1,840	1,239
T, K	276	278	293	313[60]		
$\epsilon$	118,3	117,5	111,5	103,5		
T, K	288	293	298	303	308	318[60]
$\epsilon$	113,5	111,5	109,5	107,5	105,6	—
$\epsilon_{\infty}$	—	—	3	—	—	—
$\tau \cdot 10^{11}$	5,1	—	3,9	—	3,1	2,8

#### *N-Метилформамид*

T, K	288	293	298	303	308[61]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0075	1,0031	0,9988	0,9946	0,9903
$\eta \cdot 10^3$	1,99	1,82	1,65	1,54	1,41
$\epsilon$	200,1	190,5	182,4	174,3	167,1

T, K	261,75*	284,25	348,25[60]
$\epsilon$	241	191	111
$\epsilon_{\infty}$	10	10	—
$\tau \cdot 10^{11}$	49	25	5,8

### *N-Метилацетамид*

$$\rho \cdot 10^{-3} = [0,97413 - 0,0008066 \cdot t] \cdot 10^3 \quad [7]$$

$$\eta \cdot 10^3 = \exp [-30,64 + 2,683 (10^4/T) - 8,184 \cdot (10^6/T^2) + 9,069 \cdot (10^8/T^3)] \quad [7]$$

$$\epsilon = 17,5 - 4,615 \cdot (10^4/T) + 2,884 \cdot (10^7/T^2) \quad [7]$$

$$\lg \epsilon = 1,4325 - (4 \cdot 10^{-4}) \cdot (t - 22) \quad [7]$$

T, K	303	313	323	333[62]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9503	0,9412	0,9336	0,9254
$\eta \cdot 10^3$	3,885	3,019	2,411	1,958

T, K	303	313	333	353	373	393	413	433	453[60]
$\epsilon$	179,0	165,0	139,5	118,5	101,0	87,2	75,5	65,0	56,0

T, K	304,55	317,55	331,75	343,75	358,05[60]
$\epsilon_{\infty}$	11	10	—	—	—
$\tau \cdot 10^{11}$	7,4	4,7	3,1	2,0	1,5

### *N-Метилпропионамид*

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,95069 - 8,136 \cdot 10^{-4} t + 2,921 \cdot 10^{-7} t^2 - 1,79 \cdot 10^{-9} t^3 \quad [64]$$

$$\epsilon = 231,6 - 2,7207 t + 0,02123 t^2 - 1,098 \cdot 10^{-4} t^3 + 2,534 \cdot 10^{-7} t^4 \quad [64]$$

$$\lg \epsilon = 2,3649 - 5,0427 \cdot 10^{-3} t + 9,8455 \cdot 10^{-6} t^2 - 1,915 \cdot 10^{-8} t^3 \quad [64]$$

T, K	238*	248	273	298	323	348[63]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9791	0,9709	0,9507	0,9308	0,9106	0,8905
$\eta \cdot 10^3$	62,15	35,98	11,87	5,214	2,818	1,686

T, K	288	293	298	303	308[60]
$\epsilon$	188,1	179,8	172,2	164,3	156,7

T, K	240,35*	273,25	301,35	355,85[60]
$\epsilon$	308	216	152	80
$\epsilon_{\infty}$	6	6	4	—
$\tau \cdot 10^{11}$	242	35	12,7	1,6

### *N-Метилбутирамид [8]*

T, K	298	303	308	313	323	333
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9109	0,9068	—	0,8992	0,8915	0,8840
$\eta \cdot 10^3$	—	7,472	—	5,542	4,210	3,313
$\epsilon$	128,4	124,7	120,9	117,2	109,7	102,3

*N,N*-Диметилформамид

$T, K$	293	298	303	308	313	318	323	328[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9488	0,9443	0,9400	0,9346	—	0,9250	—	0,9154
$\eta \cdot 10^3$	0,845	0,796	0,746	—	0,664	—	0,598	—

$T, K$	273	298	323	348[66]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,96771	0,94426	0,92005	0,89597
$\eta \cdot 10^3$	1,122	0,7933	0,5998	0,4732

$T, K$	288	293	298	303	308[60]
$\varepsilon$	38,42	37,65	36,71	35,87	35,05
$\varepsilon_\infty$	—	—	3	—	—
$\tau \cdot 10^{11}$	—	—	1,5	—	—

$T, K$	213	233	253	273	293	298	313	333	353	373	393[60]
$\varepsilon$	58,3	52,1	46,8	42,0	38,0	37,2	34,4	31,4	28,8	26,7	25,0

$T, K$	214,35	309,85	261,65	310,45
$\tau \cdot 10^{11}$	7,5	3,8	2,1	1,3

*N,N*-Диметилацетамид

$T, K$	273	298	323	348	373	398[67]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9614	0,9368	0,9132	0,8898	0,8650	0,8413
$\eta \cdot 10^3$	1,335	0,920	0,623	0,514	0,406	0,326

$T, K$	214,35	309,85	261,65	310,45[60]
$\tau \cdot 10^{11}$	7,5	3,8	2,1	1,3

$T, K$	288	293	298	303	308[60]
$\varepsilon$	40,09	38,93	37,78	36,81	35,83

$T, K$	294	303,65	313	323	333	343	353	363	378	393[60]
$\varepsilon$	38,85	36,55	34,90	32,95	31,05	29,50	28,25	27,15	25,50	23,95

Гексаметилфосфортриамид [68]

$T, K$	283	288	298	308	318	328	338	348
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,033	1,029	1,019	1,011	1,003	0,995	0,986	0,978
$\eta \cdot 10^3$	4,32	3,91	3,10	2,56	2,14	1,82	1,57	1,37

40

Пиридин

$T, K$	273	298	323	348[69]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,00256	0,97827	0,95226	0,92715
$\eta \cdot 10^3$	1,326	0,8844	0,6383	0,4876

$T, K$	273	293	298	303	313[70]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,00285	0,98282	—	—	0,96280
$\eta \cdot 10^3$	1,33	0,974	0,891	0,835	0,735

$T, K$	323	333	343	353	363[70]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,95279	0,94277	0,93276	0,92275	0,91273
$\eta \cdot 10^3$	0,651	0,580	0,528	0,482	0,443

$T, K$	283	293	303	313[60]
$\varepsilon$	13,8	13,2	12,6	12,0
$\eta \cdot 10^{12}$	7,5	6,6	5,9	5,3

$T=298 K; \varepsilon_\infty=2,4; \tau \cdot 10^{12}=7,3 [60]$

*N*-Метилпирролидон [71]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,45541 - 1,941 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,697 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$\eta \cdot 10^3 = -2,74043 + 435 \cdot T^{-1} + 1,603 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}$$

Ацетон

$T, K$	223	233	243	253	263	273	283	293	298[70]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,868	0,857	0,846	0,836	0,825	0,814	0,802	0,791	0,7845
$\eta \cdot 10^3$	0,777	0,657	0,567	0,496	0,437	0,391	0,351	0,318	0,302
$\varepsilon$	29,5	28,1	26,8	25,6	24,4	23,3	22,2	21,2	20,7
$\varepsilon_\infty$	—	—	—	—	—	—	—	—	1,93[60]
$\tau \cdot 10^{12}$	—	—	—	—	—	4,07	3,54	3,23	—

$T, K$	204	233	253	273	293	313[60]
$\varepsilon$	31,31	28,42	25,91	23,65	21,45	19,38

Муравьиная кислота

$T, K$	273*	283	293	298	303	313[53]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,2418	1,2299	1,2169	1,2111	1,2044	1,1920
$\eta \cdot 10^3$	3,153	2,287	1,810	1,621	1,472	1,211
$\chi \cdot 10^3$	3,231	4,240	5,294	5,818	6,343	7,390

$T, K$	323	333	343	348	353[53]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1795	1,1670	1,1546	1,1484	1,1421
$\eta \cdot 10^3$	1,032	0,8902	0,7803	0,7204	0,6795
$\chi \cdot 10^3$	8,422	9,401	10,37	10,88	11,35

$T, K$	281,55	288	293	298	303	308	312[60]
$\varepsilon$	62,2	59,7	57,9	56,1	54,5	52,9	51,6

41

Уксусная кислота

$T, K$	288	293	298	303	308[73]		
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,05482	1,04918	1,04354	1,03791	1,03228		
$\eta \cdot 10^3$	1,311	1,207	1,117	1,037	0,9674		
$T, K$	313	318	323	328[73]			
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,02665	1,02098	1,01532	1,00967			
$\eta \cdot 10^3$	0,9047	0,8468	0,7982	0,7540			
$T, K$	283	293	303	323	333[58]		
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0593	1,0491	1,0392	1,0175	1,0060		
$\eta \cdot 10^3$	1,45	1,21	1,04	0,79	0,70		
$T, K$	343	353	363	373[58]			
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9948	0,9835	0,9718	0,9599			
$\eta \cdot 10^3$	0,62	0,56	0,50	0,46			
$T, K$	293	298	313	323	333	343	353[60]
$\varepsilon$	6,170	6,196	6,309	6,401	6,512	6,631	6,800
$\tau \cdot 10^{11}$	—	4,55	—	—	—	—	—

Трифторуксусная кислота

$T, K$	258	263	273	283	293[53]		
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,5697	1,5582	1,5350	1,5418	1,4886		
$\eta \cdot 10^3$	1,670	1,501	1,227	1,032	0,8704		
$\chi \cdot 10^5$	1,263	1,391	1,650	1,942	2,239		
$T, K$	298	303	313	323[53]			
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,4777	1,4655	1,4423	1,4185			
$\eta \cdot 10^3$	0,8096	0,7501	0,6406	0,5605			
$\chi \cdot 10^5$	2,390	2,563	2,890	3,237			
$T, K$	263	273	283	293	303	313	323[60]
$\varepsilon$	9,16	8,90	8,65	8,42	8,22	8,02	7,83

Ацетонитрил

$$1/(\rho \cdot 10^{-3}) = 1,24446 + 1,6458 \cdot 10^{-3}(T-273,15) + 2,92 \cdot 10^{-6}(T-273,15)^2 \quad [74]$$

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = -3,5164 + 620 \cdot T^{-1} - 3,25 \cdot 10^4 T^{-2} \quad [74]$$

$$\varepsilon = 21,06 + 2,033 \cdot 10^4 T^{-1} - 9,63 \cdot 10^5 T^{-2} \quad [74]$$

$T, K$	298	303	313	323[60]
$\varepsilon_\infty$	2,0	—	—	—
$\tau \cdot 10^{12}$	3,9	3,8	3,5	3,1

Пропионитрил

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,802 - 1,00 \cdot 10^{-3}(T-273,15) - 5,8 \cdot 10^{-7}(T-273,15)^2 \quad [65]$$

(температурный интервал 213—443 K)

$T, K$	288	303[65]							
$\eta \cdot 10^3$	0,454	0,389							
$T, K$	213	233	253	273	293	303	313	333	353[60]
$\varepsilon$	41,6	38,3	35,1	32,2	29,7	28,6	27,5	25,2	23,0

Валеронитрил

$T, K$	298	303	313	323[75]	$T, K$	182,65	212,65	233[60]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,7948	0,7906	0,7816	0,7730	$\varepsilon$	31,33	27,58	22,65
$\eta \cdot 10^3$	0,6928	0,6485	0,5789	0,5084				
$\varepsilon_\infty$	—	1,93	1,93	1,93				
$\tau \cdot 10^{12}$	—	7,5	6,6	6,1				

$T=298 K; \varepsilon_\infty=1,9; \tau \cdot 10^{12}=3,9$

Бензонитрил

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,025 - 9,16 \cdot 10^{-4}(T-273,15) \quad [65]$$

(температурный интервал 273—493 K)

$T, K$	273	288	298	303	313	323	343	
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,02268	1,00948	1,001	0,99628	0,98766	0,97891	0,96140[65]	
$\eta \cdot 10^3$	—	1,447	1,237	1,111[76]				
$T, K$	273	293	303	313	333	353	373	393
$\varepsilon$	27,8	25,9	25,1	24,4	22,9	21,3	20,0	18,7[65]

Диметилсульфит [57]

$T, K$	248	273	298	323	348
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,2706	1,2381	1,2062	1,1734	1,1411
$\eta \cdot 10^3$	2,23	1,20	0,828	0,611	0,474

Диметилсульфоксид

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,12066 + 1,01 \cdot 10^{-3}(T-273,15) \quad [77]$$

(температурный интервал 293—323 K)

$T, K$	298	308	318	328[78]
$\eta \cdot 10^3$	1,998	1,652	1,394	1,192
$\varepsilon$	46,4	44,7	43,3	—

Сульфолан [57]

$T, K$	303	313	323	333	343
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,2630	1,2541	1,2453	1,2366	1,2277
$\eta \cdot 10^3$	10,29	7,927	6,272	5,091	4,182

Метанол

$$1/(\rho \cdot 10^{-3}) = 1,23452 + 1,4283 \cdot 10^{-3}(T-273,15) + 1,52 \cdot 10^{-6}(T-273,15)^2 \quad [74]$$

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = -5,0858 + 1421 \cdot T^{-1} - 2,62 \cdot 10^4 T^{-2} \quad [74]$$

$$\varepsilon = -23,18 + 1,602 \cdot 10^4 T^{-1} + 1,82 \cdot 10^5 T^{-2} \quad [74]$$

T, K	176,6	170,7	182,0	190,9	193,5	204,6	298,0[60]
$\varepsilon$	73,08	70,91	70,52	65,64	65,10	59,85	—
$\varepsilon_{\infty}$	8,5	8,4	8,4	8,1	8,0	7,7	5,6

T, K	273	293	298	313[60]
$\tau \cdot 10^{11}$	8,813	5,190	4,77	3,244

Этанол

$$1/(\rho \cdot 10^{-3}) = 1,24027 + 1,3031 \cdot 10^{-3}(T-273,15) + 1,39 \cdot 10^{-6}(T-273,15)^2 \quad [74]$$

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = -6,5646 + 2316 \cdot T^{-1} - 9,9 \cdot 10^4 T^{-2} \quad [74]$$

$$\varepsilon = -24,33 + 1,548 \cdot 10^4 T^{-1} - 2,88 \cdot 10^5 T^{-2} \quad [74]$$

T, K	130,6	137,3	148,4	155,6	159,4	298,0[60]
$\varepsilon$	79,0	74,2	67,3	63,9	62,6	—
$\varepsilon_{\infty}$	8,0	7,6	6,5	6,0	—	4,2

n-Пропанол

$$1/(\rho \cdot 10^{-3}) = 1,22050 + 1,137 \cdot 10^{-3}(T-273,15) + 1,28 \cdot 10^{-6}(T-273,15)^2 \quad [74]$$

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = -6,2460 + 2061 \cdot T^{-1} + 900 \cdot T^{-2} \quad [74]$$

$$\varepsilon = -27,24 + 16,33 \cdot 10^3 T^{-1} - 6,29 \cdot 10^5 T^{-2} \quad [74]$$

$$\lg \varepsilon = 1,3183 - 0,00293(T-293,15) \quad [74]$$

T, K	223	248	298	303	313	333	353[60]
$\varepsilon$	—	—	20,33	19,70	18,37	15,84	13,60
$\varepsilon_{\infty}$	4,51	4,24	3,2	—	—	—	—

$$\tau \cdot 10^{11} (298 \text{ K}) = 37,1$$

изо-Пропанол

T, K	243	288	298	303[65]				
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,80136	0,78916	0,78087	0,77690				
T, K	213	223	233	243	253	263	273	283[58]
$\eta \cdot 10^3$	66,1	37,6	23,2	14,9	10,1	6,8	4,60	3,26

T, K	293	303	313	323	333	343	353[58]
$\eta \cdot 10^3$	2,39	1,77	1,33	1,03	0,80	0,65	0,52

T, K	223	233	243	253	263	273	283	293[60]
$\varepsilon$	30,7	28,5	26,4	24,7	23,0	21,4	20,0	18,6
$\varepsilon_{\infty}$	3,70	3,65	3,59	3,56	3,52	3,48	3,45	3,48
$\tau \cdot 10^{12}$	10,8	9,3	7,5	6,5	5,6	4,8	4,3	4,0

T, K	298	303	313	333	353[60]
$\varepsilon$	19,41	18,72	17,30	14,46	11,82

n-Бутанол

T, K	273	298	323[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,8246	0,8057	0,7875

T, K	223	233	243	253	263	273	283	293[58]
$\eta \cdot 10^3$	34,7	22,4	14,6	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95

T, K	303	313	323	333	343	353	363[58]
$\eta \cdot 10^3$	2,28	1,78	1,41	1,133	0,926	0,762	0,634

T, K	298	303	313	333	353[60]
$\varepsilon$	17,51	16,82	15,63	13,45	11,47

T, K	223	233	243	253	263	273	283	293	303[60]
$\varepsilon$	29,8	27,9	26,0	24,3	22,6	21,2	19,6	18,1	16,6
$\varepsilon_{\infty}$	3,64	3,59	3,56	3,53	3,48	3,44	3,41	3,38	3,35
$\tau \cdot 10^{12}$	24,0	19,4	15,1	12,5	9,9	8,4	7,3	6,3	5,5

$$T = 298 \text{ K}; \varepsilon_{\infty} = 1,95; \tau \cdot 10^{11} = 47,7 \quad [60]$$

изо-Бутанол

T, K	273	283	293	303	313	323[70]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,8176	0,8104	0,8029	0,7951	0,7870	0,7787
$\eta \cdot 10^3$	8,0384	5,5475	3,9068	2,8640	2,1223	1,6107

T, K	333	343	353	363	373[70]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,7701	0,7613	0,7522	0,7428	0,7331
$\eta \cdot 10^3$	1,2412	0,9758	0,7825	0,6373	0,5270

T, K	233	243	253	263	273	283	293	303	313	323[60]
$\eta \cdot 10^3$	51,3	29,9	18,4	12,3	8,3	5,65	3,95	2,88	2,12	1,61

T, K	298	303	313	333	353[60]
$\varepsilon$	17,93	16,85	15,13	12,45	10,32

T, K	223	233	243	253	263	273	283	293	303[60]
$\varepsilon$	29,6	27,6	25,8	23,8	22,1	20,4	19,0	17,5	16,1
$\varepsilon_{\infty}$	3,47	3,44	3,40	3,37	3,34	3,29	3,25	3,22	3,19
$\tau \cdot 10^{12}$	29,0	23,8	18,7	14,8	12,3	10,2	8,4	7,2	6,4

Этиленгликоль

$T, K$	263,95	274,05	283,25	292,75	298,35	302,75[80]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,13384	1,12620	1,11959	1,11264	1,10908	1,10569

$T, K$	313,15	332,05	350,55	373,55	390,25	422,05[80]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,09810	1,08398	1,06891	1,05012	1,03568	1,00854

$T, K$	262,95	273,25	282,45	298,15	303,05	313,15	333,35	353,15	373,35
$\eta \cdot 10^3$	105,50	56,53	34,15	16,65	13,61	9,407	5,030	4,068	2,016[80]

$T, K$	273	288	293	298	303[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,2763	1,11710	1,11307	1,1097	1,10664
$\eta \cdot 10^3$	—	26,09	—	16,84	13,35

$\lg \epsilon = 1,5872 - 2,24 \cdot 10^{-3}(T - 293,15)[60]$

(температурный интервал 253—333 K)

$T, K$	293	303	313	323	333	343	353	373[60]
$\epsilon$	38,66	36,80	34,94	33,21	31,58	29,93	28,45	25,61

$T, K$	273	283	293	298	303	313	323[60]
$\epsilon_{\infty}$	8,8	—	—	7,3	—	—	—
$\tau \cdot 10^{11}$	24,43	18,14	13,51	—	8,48	5,85	4,22

Пропиленгликоль [65]

$T, K$	273	288	293	298	313
$\rho \cdot 10^{-3}$	—	1,0399	1,0362	1,0328	1,0290
$\eta \cdot 10^3$	243,0	—	56,0	—	18,0

Диэтиленгликоль

$T, K$	273	285	298	323	348[81]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1310	1,1223	1,1130	1,0945	1,0766
$\eta \cdot 10^3$	119,4	55,8	27,25	9,91	4,745
$\epsilon$	35,3	32,4	29,6	24,7	20,55

$T, K$	360	373	383	393	413[81]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0680	1,0586	1,0515	1,0447	1,0300
$\eta \cdot 10^3$	3,535	2,680	2,210	1,860	1,315
$\epsilon$	18,8	17,0	—	14,45	12,1

$T, K$	278	293	301	308	323[60]
$\epsilon_{\infty}$	—	—	11,00	—	—
$\tau \cdot 10^{10}$	7,2	2,8	—	1,45	0,76

Гексан

$T, K$	183	223	253	273	283	293	313	323	333[58]
$\rho \cdot 10^{-3}$	—	—	—	0,6769	0,6684	—	0,6412	0,6318	0,6221
$\eta \cdot 10^3$	1,82	0,742	0,479	0,381	0,343	0,307	0,253	—	0,222

$T, K$	273	283	288	293	298	303	308	313	318	323[60]
$\epsilon$	1,925	1,911	1,904	1,897	1,889	1,875	1,872	1,865	1,858	1,851

Четыреххлористый углерод

$T, K$	263	273	288	293	313	323	333[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	—	1,63255	—	1,5939	1,5557	—	1,5165
$\eta \cdot 10^3$	1,68	1,33	1,13	0,969	0,739	0,651	0,585

$T, K$	263	273	288	298	323	333	343[60]
$\epsilon$	2,2930	2,2734	2,2447	2,2270	2,1825	2,1650	2,1478

1,2-Дихлорэтан

$T, K$	273	283	293	303[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,28165	1,26721	1,25276	1,23832
$\eta \cdot 10^3$	1,1322	0,9658	0,8385	0,7362

$T, K$	313	323	333	343[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,22388	1,20944	1,19499	1,18055
$\eta \cdot 10^3$	0,6523	0,5841	0,5273	0,4790

$T, K$	243	263	283	303	323	343[60]
$\epsilon$	14,17	12,43	11,03	9,87	8,87	8,02

Бензол

$T, K$	283	293	303	313	333	343	353[58]
$\rho \cdot 10^{-3}$	—	0,8790	—	0,8576	0,8357	0,8248	0,8145
$\eta \cdot 10^3$	0,755	0,649	0,559	0,489	0,389	—	0,318

$T, K$	283	288	298	303	318	328	338[60]
$\epsilon$	2,3024	2,2925	2,2725	2,2628	2,2331	2,2133	2,1935



Хлорбензол

$T, K$	228	237,85	242,55	250,25	260,05	266,95	273[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,17713	1,16630	1,16103	1,15253	1,14201	1,13452	1,12795
$T, K$	283	333	353,55	361,25	375,35	386,25	392,75[65]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1169	1,0640	1,0415	1,0330	1,0170	1,0040	0,9962
$T, K$	273	283	288	293	303	313	323[58]
$\eta \cdot 10^3$	1,056	0,915	0,844	0,802	0,708	0,635	0,573
$T, K$	333	343	353	363	373	383	393[58]
$\eta \cdot 10^3$	0,520	0,476	0,437	0,400	0,370	0,339	0,313
$T, K$	223	233	243	253	258	263	273[60]
$\varepsilon$	7,28	7,01	6,758	6,502	—	6,260	6,027
$\varepsilon_\infty$	—	—	—	2,63	2,68	2,66	2,66
$\tau \cdot 10^{12}$	—	—	—	12	11	10	9
$T, K$	283	293	303	313	323	333	343[60]
$\varepsilon$	5,818	5,633	5,460	5,3000	5,150	5,016	4,888
$\varepsilon_\infty$	—	2,55	2,47	2,37	2,34	2,31	—
$\tau \cdot 10^{12}$	—	7	6	5,5	5,0	4,6	—

o-Дихлорбензол [82]

$T, K$	298	308	318	328	338
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,3007	1,2885	1,2784	1,2674	1,2558
$\eta \cdot 10^3$	1,2778	1,1038	0,9701	0,8669	0,7720
$T, K$	293	363			
$\varepsilon$	9,82	7,10			

Нитрометан [83, 84]

$T, K$	273	298	313	328	343	358
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1656	1,1300	1,1042	1,0764	1,0474	1,0164
$\eta \cdot 10^3$	0,8429	0,6317	0,5262	0,4500	0,3924	0,3427

Нитробензол

$T, K$	298	308	318	323	328	338	348[57]	
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1985	1,1887	1,1789	1,1744	1,1692	1,1595	1,1498	
$\eta \cdot 10^3$	1,838	1,549	1,308	1,230	1,135	0,9876	0,8697	
$T, K$	273*	278*	283	288	293	303	313	323[58]
$\eta \cdot 10^3$	3,09	2,771	2,483	2,239	2,034	1,682	1,438	1,251
$T, K$	333	343	353	363	373	398	393	403[58]
$\eta \cdot 10^3$	1,094	0,970	0,875	0,779	0,718	0,573	0,472	0,397
$T, K$	283	285,95	291	298	303[60]			
$\varepsilon$	37,85	37,30	36,23	34,89	33,97			
$T, K$	275*	278*	283	293	303	313	323[60]	
$\varepsilon$	39,3	38,7	37,8	35,9	34,1	32,2	30,6	
$\varepsilon_\infty$	4,11	4,06	4,00	3,84	3,67	3,51	3,24	
$T, K$	293	303	313	323	333[60]			
$\varepsilon$	35,46	33,35	31,56	30,03	28,61			
$\varepsilon_\infty$	2,41	2,39	2,38	2,37	2,36			
$\tau \cdot 10^{11}$	4,90	4,15	3,47	—	—			

Диэтиловый эфир

$T, K$	163	173	183	193	203	213	223	233[65]	
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,85200	0,84196	0,83182	0,82159	0,79032	0,80084	0,79032	0,77970	
$\eta \cdot 10^3$	2,56	1,69	1,24	0,958	—	0,637	—	0,461	
$T, K$	243	253	263	273	283	293	298	303[65]	
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,76899	0,75819	0,74729	0,73629	0,72503	0,71352	0,70768	0,70177	
$\eta \cdot 10^3$	0,410	0,362	0,323	0,284	—	0,233	0,222	0,213	
$T, K$	223	233	243	253	263	273	283	293	303[60]
$\varepsilon$	—	5,910	5,600	5,325	5,066	4,803	4,575	4,366	4,152
$\varepsilon_\infty$	1,950	1,935	1,935	1,905	1,890	1,875	1,860	1,845	1,830
$\tau \cdot 10^{12}$	6,00	5,20	4,30	4,02	3,71	3,18	2,81	2,44	2,12

Дибутиловый эфир

$T, K$	298	323	348[85]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,7627	0,7416	0,7195
$\eta \cdot 10^3$	0,637	0,462	0,356

$T, K$	273	283	293	303	313	333	353	373[58]
$\eta \cdot 10^3$	0,94	0,80	0,69	0,61	0,54	0,429	0,350	0,293

$$\varepsilon = 3,2244 - 7,09 \cdot 10^{-3}(T - 273,15) \quad [60]$$

Глим

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,912 - 10,7 \cdot 10^{-4}(T - 250,89) \quad [91]$$

(температурный интервал 195—309 К)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,88828 - 1,07 \cdot 10^{-3}(T - 273,15) - 4,5 \cdot 10^{-7}(T - 273,15)^2 \quad [92]$$

(температурный интервал 228—298 К)

$$\eta \cdot 10^3 = 5,6098 \cdot 10^6 \cdot T^n \exp \left[ \frac{283,75}{R(T - 168,97)} \right]; \quad n = -2,93266 \quad [92]$$

(температурный интервал 228—298 К)

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = (1,10 \pm 0,15)(10^3/T - 4,089) \quad [92]$$

$$\ln \varepsilon = 0,28495 + 627,25 \cdot T^{-1} - 3,7444 \cdot 10^4 \cdot T^{-2} \quad [92]$$

$$d \ln \varepsilon / d \ln T = -1,28; \quad \varepsilon = -2,83 + 2950 \cdot T^{-1} \quad [91]$$

$T, K$	248	273	298	323	348[90]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,91440	0,88825	0,86139	0,83336	0,80518
$\eta \cdot 10^3$	0,7959	0,5547	0,4084	0,3147	0,2446

Диглим [91]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,988 - 10,1 \cdot 10^{-4}(T - 251,28)$$

(температурный интервал 195—309 К)

$T, K$	193	198	203	208	213	218	223	228	233	238
$\eta \cdot 10^3$	72	47	31,4	21,9	15,8	11,7	8,9	6,9	5,5	4,47

$T, K$	243	248	253	258	263	268	273	278	283
$\eta \cdot 10^3$	3,69	3,09	2,63	2,26	1,97	1,74	1,55	1,39	1,26

$T, K$	288	293	298	303	308	313	318	323	328
$\eta \cdot 10^3$	1,14	1,06	1,06	0,978	0,911	0,853	0,803	—	—

Триглим [91]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,9853 - 9,5 \cdot 10^{-4}(T - 293,73)$$

(температурный интервал 238—363 К)

$T, K$	248	253	258	263	268	273	283	288	293
$\eta \cdot 10^3$	8,18	6,71	5,59	4,73	4,05	3,51	3,07	2,71	2,41

$T, K$	298	303	308	313	318	323	328	333	338
$\eta \cdot 10^3$	2,16	1,953	1,773	1,618	1,489	1,365	1,262	1,171	1,089

$T, K$	343	348	353	358	363	368	373	378
$\eta \cdot 10^3$	1,017	0,951	0,893	0,839	0,790	0,746	0,705	0,668

Тетраглим [91]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,0114 - 9,1 \cdot 10^{-4}(T - 293,73)$$

(температурный интервал 238—363 К)

$T, K$	248	253	258	263	268	273	283	288	293
$\eta \cdot 10^3$	19,12	14,75	11,68	9,46	7,81	6,55	5,57	4,80	4,18

$T, K$	298	303	308	313	318	323	328	333	338
$\eta \cdot 10^3$	3,67	3,25	2,90	2,60	2,35	2,14	1,949	1,787	1,645

$T, K$	343	348	353	358	363	368	373	378
$\eta \cdot 10^3$	1,521	1,411	1,313	1,226	1,148	1,079	1,016	0,959

Анизол

$T, K$	293	313	333[44]	$T, K$	293	313	333[60]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9939	0,9730	0,9495	$\varepsilon$	4,39	4,17	3,99
$\eta \cdot 10^3$	1,091	0,807	0,626	$\varepsilon_{\infty}$	2,60	2,58	2,55
				$\tau \cdot 10^{11}$	1,23	0,88	0,69

Триэтилфосфат [65]

$T, K$	288	298	313	318	328	338
$\rho \cdot 10^{-3}$	—	1,06826	1,05332	—	1,03841	—
$\eta \cdot 10^3$	—	2,147	1,681	—	1,376	—
$\varepsilon$	13,43	12,94	—	11,91	—	10,93

Трибутилфосфат [57]

$T, K$	248	273	298	323	348
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0168	0,9948	0,9730	0,9513	0,9295
$\eta \cdot 10^3$	18,01	6,752	3,366	2,000	1,323

*Метилформиат*

$T, K$	273	283	288	293	298	303
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,00317	0,98864	0,98149	0,97421	—	— [65]
$\eta \cdot 10^3$	0,429	0,385	0,362	0,348	0,330	0,318 [58]
$T, K$	273,73	279,54	284,03	288,79	293,30	298,67
$\eta \cdot 10^3$	0,4623	0,3999	0,3810	0,3626	0,3467	0,3298
						302,41 [65]
						0,3190

*Этилформиат*

$T, K$	248	273	283	288	293	298	303	313	323
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9732	0,9431	—	—	—	0,9125	—	—	0,8833 [57]
$\eta \cdot 10^3$	0,7681	0,5207	—	—	—	0,3898	—	—	0,3007 [58]
$\eta \cdot 10^3$	—	0,51	0,45	0,419	0,402	0,382	0,358	0,329	0,308 [58]

*Метилацетат*

$T, K$	223	238	248	273	298	323 [86]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0237	1,0044	0,9915	0,9594	0,9271	0,8949
$\eta \cdot 10^3$	1,203	0,7882	0,6812	0,4817	0,3610	0,2769
$T, K$	273	283	293	298	303	313
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,95932	—	0,9338	—	—	0,9075
$\eta \cdot 10^3$	0,479	0,425	0,381	0,362	0,344	0,312
$\varepsilon$	—	7,420	7,092	—	6,785	—
						323 [65]
						0,8939
						0,284
						— [60]

*Этилацетат*

$T, K$	219,55	228	235,95	237,85	243	250,20 [58]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,98772	0,97778	0,96859	0,96646	0,96088	0,95187 [58]
$T, K$	259,75	266,95	273	278	283	288 [58]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,94024	0,93199	0,92450	0,91865	0,91268	0,90665
$T, K$	293	298	303	308	313 [58]	
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,90056	0,89446	0,88830	0,88214	0,87598	
$T, K$	248	273	298	323 [87]		
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,9540	0,9241	0,8945	0,8633		
$\eta \cdot 10^3$	0,8434	0,5771	0,4261	0,3230		
$T, K$	189	195	229	259,65	293 [60]	
$\varepsilon$	8,817	8,540	7,461	6,717	6,002	
$T, K$	276	293	313	333		
$\varepsilon$	6,40	6,04	5,63	5,22 ( $\varepsilon_\infty = 2,48$ )		

*Метилхлорацетат*

$T, K$	248	273	298	323 [57]
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,2901	1,2612	1,2276	1,1942
$\eta \cdot 10^3$	3,209	1,651	1,048	0,738

*Диметилфталат [89]*

$T, K$	298	308	318
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1865	1,1775	1,1674
$\eta \cdot 10^3$	13,92	9,18	6,41
$\varepsilon$	8,37	8,25	8,11

*Диэтилфталат [89]*

$T, K$	298	308	318
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1160	1,1079	1,0991
$\eta \cdot 10^3$	10,82	7,63	5,57
$\varepsilon$	7,53	7,34	7,13

*Дибутилфталат [89]*

$T, K$	298	308	318
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0426	1,0345	1,0264
$\eta \cdot 10^3$	16,55	11,17	7,95
$\varepsilon$	6,36	6,17	5,99

*Дипентилфталат [89]*

$T, K$	298	308	318
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,0230	1,0132	1,0025
$\eta \cdot 10^3$	27,58	17,03	11,51
$\varepsilon$	5,96	5,79	5,62

*Тетрагидрофуран*

$d \ln V_M/dT = 1,085 \cdot 10^{-3}; \quad \lg \eta = -4,655 + 393 T^{-1} [60]$

$d \ln \varepsilon/d \ln T = -1,16; \quad \varepsilon = -1,495 + 2659 T^{-1} [60]$

$T, K$	203	213	223	233	243	253	263	273	283	298 [60]
$\rho \cdot 10^{-3}$	0,978	0,966	0,955	0,945	0,934	0,924	0,914	0,904	0,894	0,880
$\eta \cdot 10^3$	1,91	1,55	1,28	1,075	0,916	0,791	0,690	0,608	0,542	0,461
$\varepsilon$	11,58	10,98	10,43	9,91	9,43	9,00	8,60	8,23	7,88	7,39

$T = 293 K; \quad \varepsilon_\infty = 2,20; \quad \tau \cdot 10^{12} = 2,12 [60]$   
 $T = 313 K; \quad \varepsilon_\infty = 3,1; \quad \tau \cdot 10^{12} = 2,7$

*1,3-Диоксолан [57]*

$T, K$	248	273	298	323
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1398	1,1104	1,0799	1,0497
$\eta \cdot 10^3$	1,532	0,9980	0,7138	0,5387

*$\gamma$ -Бутиролактон*

[94]

$T, K$	223*	238	248	273	298	323	348
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1986	1,1835	1,1734	1,1489	1,1242	1,0996	1,0744
$\eta \cdot 10^3$	12,22	6,755	4,940	2,723	1,732	1,211	0,9059

[95]

$T, K$	233	253	273	293	313	323
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,1834	1,1657	1,1481	—	1,1064	1,0995

Этиленкарбонат

[57]

$T, K$	298*	303*	313	323	333	343	348
$\rho \cdot 10^{-3}$	1,3375	1,3317	1,3202	1,3088	1,2974	1,2859	1,2803
$\eta \cdot 10^3$	2,517	2,294	1,946	1,648	1,439	1,259	1,0186

[96]

$T, K$	313	318	323	328
$\eta \cdot 10^3$	1,850	1,722	1,590	1,459

Пропиленкарбонат

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,2268 - 1,0765 \cdot 10^{-3} (T - 273,15) \quad [97]$$

$$1/(\rho \cdot 10^{-3}) = 0,81527 + 7,149 \cdot 10^{-4} (T - 273,15) + 4,59 \cdot 10^{-7} (T - 273,15)^2 \quad [98]$$

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = 5,3505 - 4234 \cdot T^{-1} + 8,70 \cdot 10^5 T^{-2} \quad [98]$$

$$\epsilon = -33,09 + 3,665 \cdot 10^4 T^{-1} - 2,210 \cdot 10^6 T^{-2} \quad [98]$$

$T, K$	223	238	248	273	298	323	348[97]
$\eta \cdot 10^3$	51,42	17,92	10,97	4,563	2,514	1,615	1,146

$T, K$	$\epsilon_{\infty}$	$\tau \cdot 10^{12}$
298	5,6[98]; 12,5[99]	39[98]; 45[99]

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РАСПЛАВЛЕННЫЕ СОЛИ

Нитрат лития [100]

(550 < T < 700)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 2,068 - 0,546 \cdot 10^{-3} T$$

$$\eta \cdot 10^3 = 20,4645 + 1,34189 \cdot 10^{-2} T - 1,31061 \cdot 10^{-4} T^2 + 1,06106 \cdot 10^7 T^3$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = -1,5242 + 3,4674 \cdot 10^{-3} T + 1,8027 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$\lambda \cdot 10 = 967,8 \exp(-15016,3/RT)$$

Хлорат лития [100]

(410 < T < 450)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 2,3936 - 7,5702 \cdot 10^{-4} T$$

$$\eta \cdot 10^3 = 13199,6 - 88,4573 \cdot T + 0,198361 \cdot T^2 - 1,48684 \cdot 10^{-4} T^3$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = -0,95475 + 2,6390 \cdot 10^{-3} T$$

$$\lambda \cdot 10 = 9394,7 \exp(-42799,6/RT)$$

Перхлорат лития [100]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 2,337 - 0,612 \cdot 10^{-3} T \quad (530 < T < 650)$$

$T, K$	533	553	573	593	613	633	653
$\kappa \cdot 10^{-2}$	77,5	88,5	95,5	104,5	113,5	122,0	131,0

Роданид калия [100]

(450 < T < 520)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,9581 - 8,00 \cdot 10^{-4} T$$

$$\eta \cdot 10^3 = 1935,08 - 11,1776 \cdot T + 2,16788 \cdot 10^{-2} T^2 - 1,40826 \cdot 10^{-5} T^3$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = 100 \exp(-23346,7/RT)$$

$$\lambda \cdot 10 = 7874 \exp(-25447/RT)$$

Тетрафторборат тетрапропиламмония

(530 < T < 560)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,2467 - 6,145 \cdot 10^{-4} T \quad [100]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 539,745 - 2,88873 \cdot T + 5,20040 \cdot 10^{-3} T^2 - 3,13987 \cdot 10^{-6} T^3 \quad [100]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 6,6629 \cdot 10^{-3} \exp(25262,3/RT) \quad [101]$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = 6,6731 \exp(-18713,7/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 2973,9 \exp(-20438,7/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 3345,6 \exp(-20947/RT) \quad [101]$$

Гексафторфосфат тетрапропиламмония

(520 < T < 550)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,2433 - 3,224 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 900,654 - 4,87945 T + 8,87944 \cdot 10^{-3} T^2 - 5,41472 \cdot 10^{-6} T^3 \quad [100]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 5,60947 \cdot 10^{-3} \exp(27033,1/RT) \quad [101]$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = 21,0096 \exp(-24696,1/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 7610,3 \exp(-25396,8/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 7821,3 \exp(-25515,8/RT) \quad [101]$$

Тетрафенилборат тетрапропиламмония

(490 < T < 530)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,14613 + 3,70736 \cdot 10^{-3} T - 4,29706 \cdot 10^{-6} T^2 \quad [100, 101]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 2348,89 - 12,9447 \cdot T + 2,39385 \cdot 10^{-2} T^2 - 1,48320 \cdot 10^{-3} T^3 \quad [100]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 0,61079 \exp(-17230,1/RT + 1,37316 \cdot 10^7/RT^2) \quad [101]$$

Бромид тетрабутиламмония

(393 < T < 410)

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,287 - 7,039 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = 1926,41 \exp(-45264,1/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 8,1714 \cdot 10^5 \exp(-46195,4/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 5653,3 \exp(-32350,9/RT) \quad [101]$$

*Иодид тетрабутиламмония*

$$(420 < T < 440)$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,4460 - 8,388 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = -6,48575 \cdot 10^{-2} + 1,66797 \cdot 10^{-4} T \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 136940 \exp(-39305,2/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 106192 \exp(-38443,7/RT) \quad [101]$$

*Тетрафторборат тетрабутиламмония*

$$(440 < T < 540)$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,1906 - 5,182 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 1099,50 - 6,25565 T + 1,19468 \cdot 10^{-2} T^2 - 7,64127 \cdot 10^{-6} T^3 \quad [100]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 0,55062 \exp(-13813,1/RT + 1,05753 \cdot 10^7/RT^2) \quad [101]$$

$$\lambda \cdot 10 = 46,0533 \exp(15057,2/RT - 1,01426 \cdot 10^7/RT^2) \quad [100]$$

*Гексафторфосфат тетрабутиламмония*

$$(530 < T < 550)$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,3252 - 6,557 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 3,1726 \cdot 10^{-3} \exp(29956/RT) \quad [100]$$

$$\lambda \cdot 10 = 4743,7 \exp(-49505,8/RT) \quad [100]$$

*Тетрафенилборат тетрабутиламмония*

$$(510 < T < 540)$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,1435 - 4,945 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 1,588 \cdot 10^{-3} \exp(34831,7/RT) \quad [100]$$

*Роданид тетрапентиламмония [100]*

$$(325 < T < 385)$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,0774 - 5,3662 \cdot 10^{-4} T$$

$$\eta \cdot 10^3 = 116917 - 941,774 \cdot T + 2,53276 T^2 - 2,27331 \cdot 10^{-3} T^3$$

$$\kappa \cdot 10^{-2} = 6,21247 \cdot 10^{-2} - 3,93243 \cdot 10^{-4} T + 6,24733 \cdot 10^{-7} T^2$$

$$\lambda \cdot 10 = 5,7747 \cdot 10^5 \exp(-41347/RT)$$

*Тетрафторборат тетрагексиламмония*

$$(370 < T < 500)$$

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,1296 - 5,772 \cdot 10^{-4} T \quad [100, 101]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 1,806 \cdot 10^{-4} \exp(41174,6/RT) \quad [100]$$

$$\eta \cdot 10^3 = 0,534566 \exp(-16521,3/RT + 1,24295 \cdot 10^7/RT^2) \quad [101]$$

*Пикрат тетраоктиламмония [102]*

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,03945 - 6,569 \cdot 10^{-4} (T - 273,15) \quad (293 < T < 323)$$

$$\eta \cdot 10^3 = 6,3281 \cdot 10^{-7} \exp(53193/RT) \quad (308 < T < 323)$$

$$\kappa \cdot 10^3 = 4,2756 \cdot 10^9 \exp(-52399/RT) \quad (308 < T < 323)$$

$$\eta \cdot 10^3 = 1,0834 \cdot 10^{-8} \exp(63538/RT) \quad (293 < T < 303)$$

$$\kappa \cdot 10^3 = 1,3859 \cdot 10^{11} \exp(-61222/RT) \quad (293 < T < 303)$$

## 1.5. СМЕШАННЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ

Применение смешанных растворителей в химической практике связано с возможностью оптимизации физико-химических и электрохимических характеристик получаемых на их основе электролитных растворов.

Свойства многих жидких бинарных систем, составленных из химически не взаимодействующих между собой неводных компонентов, описаны в литературе [59, 65, 69, 103—115]. К сожалению, в литературе практически отсутствуют данные по свойствам смесей, составленных из таких широко используемых на практике растворителей, как циклические эфиры, лактоны, амиды, сульфосоединения и т. п. Рассмотрим кратко методы расчета некоторых наиболее важных в практическом отношении свойств смешанных растворителей (плотность, вязкость, диэлектрическая проницаемость, показатель преломления).

Ряд свойств смесей обладает аддитивностью и может быть рассчитан по уравнению:

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i U_i,$$

где  $U_i$  — доля (объемная, мольная)  $i$ -го компонента смеси.

К объемно-аддитивным свойствам относятся плотность и показатель преломления.

В двойных системах, образованных неассоциированными растворителями, диэлектрическая проницаемость в первом приближении также может быть оценена по уравнению объемно-долевой аддитивности. Лучшее согласие между экспериментальными и расчетными значениями  $\epsilon$  наблюдается при применении упрощенного уравнения Шахпаронова [116, 117]:

$$\epsilon = \epsilon_{ад} + \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 (\Delta\bar{\varphi})^2}{\epsilon_{ад} (2 + \delta_\epsilon)},$$

где  $(\Delta\bar{\varphi})^2$  — средний квадрат флуктуаций концентраций;  $\delta_\epsilon = \frac{\partial \epsilon_{ад}}{\partial V} / \frac{\partial \epsilon_{эксп}}{\partial V}$ .

Проведенный в работе [118] анализ показал, что для смесей неассоциированных жидкостей  $(\Delta\bar{\varphi})^2 \approx 0,13$ . Поскольку  $\delta_\epsilon$  для равнообъемной смеси компонентов равна  $\approx 1$ , отклонение изотермы  $\epsilon$  от объемно-долевой аддитивности в смеси такого состава может быть рассчитано по уравнению

$$\Delta\epsilon = 0,043 (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 / \epsilon_{ад}.$$

Способы расчета  $\epsilon$  для смесей, в которых один из компонентов ассоциирован, описаны в [119].

Вязкость смеси апротонных растворителей с вполне удовлетворительной для многих прикладных задач точностью рас-

считывается по уравнению [120]

$$\ln \eta_{см} = \sum X_i \ln \eta_i.$$

Очень точно вязкость смесей (особенно если компоненты не слишком сильно различаются по вязкости) можно рассчитать, определив экспериментально значение вязкости хотя бы для одного состава смеси. При этом используется уравнение Френкеля [48, 49]:

$$\ln \eta_{см} = X_1^2 \ln \eta_1 + X_2^2 \ln \eta_2 + 2X_1 X_2 \ln \eta_{1,2}$$

либо уравнение Кэтти — Чаудхри [121]:

$$\ln (\eta_{см} V_{M см}) = X_1 \ln (\eta_1 V_{M_1}) + X_2 \ln (\eta_2 V_{M_2}) + W/RT,$$

где  $\eta_{1,2}$  — фактор взаимодействия, определяемый по экспериментальному значению вязкости эквимолекулярной смеси; величину  $W$  находят по экспериментальному значению вязкости для произвольного состава смеси.

Более универсальным является уравнение Эйнштейна — Ванда — Стокса (подробнее см. разд. 2.1.2), применимое как для ассоциированных, так и для неассоциированных компонентов. В большинстве случаев погрешность расчета по этому уравнению оказывается меньшей, чем при расчете по любому другому уравнению, причем преимущество перед другими уравнениями тем очевиднее, чем больше различие в вязкости исходных компонентов.

## ГЛАВА 2

### ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ РАСТВОРЫ. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОВОДЯЩИХ РАСТВОРОВ

В соответствии с современной теорией электролитных растворов, достаточно полно учитывающей роль как химических, так и физических факторов, возможны два пути образования проводящих растворов. Первый путь заключается в растворении в подходящем растворителе так называемых ионофоров — веществ, имеющих в кристаллическом состоянии ионное строение. К типичным ионофорам относятся, например, галогениды щелочных металлов. Естественно, что в жидком (расплавленном) состоянии сами ионофоры обладают весьма высокой электропроводностью.

Второй путь — растворение веществ, которые в индивидуальном состоянии тока не проводят (так называемые ионогены).

В этом, наиболее распространенном, случае электропроводность растворов обусловлена кислотно-основным взаимодействием между исходными компонентами раствора.

## 2.1. СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ИОНОФОРОВ

### 2.1.1. Плотность

Имеющиеся в литературе данные, в том числе прецизионные измерения, выполненные с помощью магнитно-поплавокных плотномеров [77, 122], свидетельствуют о том, что для большого числа неводных растворов ионофоров (солей металлов I и II групп Периодической системы) изменения плотности с температурой при фиксированной концентрации  $X$  соли в растворе в достаточно широком интервале температур описываются линейным уравнением

$$\rho = a + bt,$$

причем величина  $b$  либо вообще не зависит от концентрации, либо незначительно уменьшается с ее ростом. В некоторых работах [44, 45] для более точного описания температурной зависимости плотности растворов пользуются уравнением типа

$$\rho \text{ (или } 1/\rho) = a + bt + ct^2.$$

Концентрационная зависимость плотности неводных растворов ионофоров (при фиксированной температуре) во многих случаях также подчиняется линейному уравнению:

$$\rho = \rho_0 + \beta c$$

при объемном способе выражения концентрации  $c$  (в кмоль/м<sup>3</sup>).

Такой ход концентрационной зависимости плотности вполне закономерен. Плотность, как известно, является объемно-аддитивным свойством. Поэтому в двойных системах, в которых химическое взаимодействие отсутствует, плотность должна подчиняться уравнению объемно-долевой аддитивности:

$$\rho = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2.$$

В качестве примера, подтверждающего справедливость этого положения, можно привести системы Oct<sub>4</sub>NPi — метилацетат и Pent<sub>4</sub>NCSN — нитробензол (рис. 1). Разумеется, в этих системах соблюдается также линейность зависимости  $\rho$  —  $c$ .

Для растворов солей с сильным ион-дипольным взаимодействием [77] концентрационная зависимость плотности передается уравнением типа

$$\rho = a_1 + a_2 c^{1/2} + a_3 c + \dots,$$

при этом концентрация может выражаться в кмоль/м<sup>3</sup> или кмоль/т.

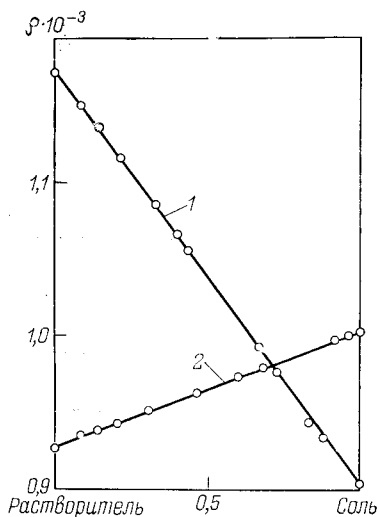


Рис. 1. Зависимость плотности растворов от концентрации соли (в объемн. долях) в двойных жидких системах:

1 — Pent<sub>4</sub>NSCN — НВ (325 К); 2 — Oct<sub>4</sub>NPI — MeAc (298 К)

Полезная информация о структуре электролитных растворов, о характере взаимодействия ион — растворитель может быть почерпнута из анализа величин кажущихся и парциальных мольных объемов растворенных ионофоров.

Из данных по плотности растворов значения кажущихся мольных объемов  $\Phi_V$  рассчитываются по уравнению

$$\Phi_V = \frac{1000}{c\rho_0} (\rho_0 - \rho) + \frac{M_2}{\rho_0}, \quad (2.1)$$

где  $M_2$  — молекулярная масса растворенной соли;  $\rho$  и  $\rho_0$  — плотность раствора и чистого растворителя соответственно.

Зависимость кажущегося мольного объема от концентрации подчиняется эмпирическому уравнению Мессона:

$$\Phi_V = \Phi_V^0 + S_V \sqrt{c}, \quad (2.2)$$

где  $S_V$  — эмпирический коэффициент.

Кажущийся мольный объем при предельном разбавлении  $\Phi_V^0$  находят путем экстраполяции прямолинейных участков зависимости  $\Phi_V - \sqrt{c}$  к нулевой концентрации. Однако при этом могут возникнуть затруднения, связанные с тем, что эти участки в разных концентрационных областях имеют различный наклон  $S_V$ . Поэтому величины  $\Phi_V^0$ , рассчитываемые из разных прямолинейных участков, могут заметно отличаться друг от друга [77].

Теоретическое выражение для предельного наклона зависимости  $\Phi_V - \sqrt{c}$  было найдено Редлихом и Розенфельдом на основе теории Дебая — Хюккеля:

$$S_V = K\omega^{3/2},$$

где

$$K = N^2_A e^3 (8\pi/1000\epsilon^3 RT)^{1/2} [\partial (\ln \epsilon) / \partial P - \bar{\beta}/3];$$

$$\omega = 0,5 \sum v_i z_i^2,$$

$v_i$  — число ионов сорта  $i$  с зарядом  $z_i$ , образующихся из одной молекулы соли;  $P$  — давление;  $\bar{\beta}$  — коэффициент сжимаемости. Остальные обозначения общепринятые.

Однако сопоставление экспериментальных и теоретических тангенсов углов наклона зависимости  $\Phi_V - \sqrt{c}$  зачастую невозможно из-за того, что для многих неводных растворителей отсутствуют данные, необходимые для расчета  $S_V^{\text{теор}}$ .

Сочетание уравнений (2.1) и (2.2) приводит к уравнению Рута [123]:

$$\rho = \rho_0 + \frac{(M_2 - \rho_0 \Phi_V^0) c}{1000} - \frac{(S_V \rho_0)^{3/2}}{1000},$$

в котором величина  $S_V \rho_0$  представляет собой коэффициент, общий для всех сильных электролитов одного валентного типа в данном растворителе.

Парциальный мольный объем растворенного ионофора может быть рассчитан по уравнению

$$\bar{V} = \Phi_V + \left[ \frac{1000 - c\Phi_V}{2000 + c^{3/2} (\partial\Phi_V/\partial\sqrt{c})} \right] c^{1/2} \frac{\partial\Phi_V}{\partial\sqrt{c}}.$$

Если зависимость плотности раствора от концентрации соли является линейной, то  $\Phi_V$  принимает постоянное значение, равное

$$\Phi_V = \frac{M_2}{\rho_0} - b \frac{1000}{\rho_0},$$

где  $b$  — тангенс угла наклона зависимости  $\rho$  от  $c$ .

В этом случае величины  $\Phi_V$  и  $\bar{V}$  совпадают друг с другом.

Обычно плотность упаковки молекул растворителя вокруг ионов возрастает с уменьшением концентрации соли. Вследствие этого парциальный мольный объем при предельном разбавлении намного меньше, чем  $\bar{V}$  в концентрированных растворах. В воде для многих солей значения  $\bar{V}$  приближаются к значениям молярного объема соли только при очень больших концентрациях. В случае неводных растворителей такая закономерность часто не соблюдается. Так, по данным работы [124], для целого ряда растворов электролитов 1-1 и 1-2 в формамиде парциальный мольный объем в широком интервале концентраций является постоянной величиной, близкой к величине мольного объема растворенной соли.

Анализ парциальных объемных свойств растворов ионофоров в бинарных растворителях позволяет получить сведения о характере специфической ионной сольватации. Для этой цели может быть применено уравнение [125]

$$\Delta \bar{V}_E^0 = - [n_A X_A \Delta \bar{V}_{E(A)} + n_B X_B \Delta \bar{V}_{E(B)}],$$

где  $\Delta V_E^0$  — избыточный парциальный мольный объем соли при бесконечном разбавлении (т. е. разность парциального мольного объема соли при бесконечном разбавлении и мольного объема соли);  $n_{A(B)}$  — сольватные числа соли в растворителях А и В;  $\Delta \bar{V}_{E(A,B)}$  — избыточные парциальные объемы компонентов А и В в растворителе (А+В).

## 2.1.2. Вязкость

### 2.1.2.1. Зависимость вязкости от температуры

Характер изменения вязкости растворов ионофоров в зависимости от температуры определяется рядом факторов (природа растворителя и соли, концентрация раствора, выбранный интервал температур). Температурные изменения вязкости растворов солей в неассоциированных растворителях до концентраций  $\approx 0,2-0,3$  М с достаточно хорошим приближением описываются экспоненциальными уравнениями (Аррениуса — Гузмана, Эйринга). Для более концентрированных растворов зависимость  $\ln \eta - 1/T$  отклоняется от линейности. В рамках модели Эйринга такой ход изменения вязкости можно объяснить изменениями в структуре раствора под воздействием температуры, что вызывает соответствующие изменения в энергии (энтальпии) активации вязкого течения.

Рост концентрации соли приводит к увеличению степени упорядоченности раствора за счет сольватации ионов молекулами растворителя. А это влечет за собой еще более ошутимое отклонение зависимости  $\ln \eta - 1/T$  от линейности.

В индивидуальных ассоциированных растворителях с отчетливо выраженной собственной структурой зависимость  $\ln \eta - 1/T$  (при условии рассмотрения ее в достаточно широком температурном интервале) оказывается, как правило, нелинейной. Вполне естественно, что даже для весьма разбавленных растворов солей в таких растворителях зависимость  $\ln \eta - 1/T$  отклоняется от линейной. Этот эффект нарастает по мере увеличения концентрации соли и с понижением температуры.

Аппроксимация опытных данных для таких растворов может быть осуществлена с помощью уравнений типа

$$\ln \eta = A + B/T + C/T^2 + \dots$$

либо обычного экспоненциального уравнения, в котором учтены температурные изменения энергии активации вязкого течения:

$$E_\eta = A + BT + CT^2 + \dots$$

В настоящее время для описания температурных изменений транспортных свойств в концентрированных растворах широко используется эмпирическое уравнение Вогеля — Фульчера — Таммана:

$$W(t) = AT^{-1/2} \exp[-k/(T - T_0)], \quad (2.3)$$

где  $W(t)$  — транспортное свойство.

Величины  $A$  и  $k$  являются постоянными для данного транспортного свойства;  $T_0$  — так называемая идеальная температура, при которой любое транспортное свойство становится равным нулю; эта величина является функцией концентрации соли.

Величина  $T_0$  играет важную роль в теории Турнбулла и Коухена [50], а также в теории Адама и Гиббса [51], основные уравнения которых совпадают по форме с уравнением (2.3). Однако смысл величины  $T_0$  в этих теориях несколько различается.

В соответствии с теорией свободного объема Турнбулла и Коухена, молекулярный транспорт в жидкости происходит только тогда, когда под влиянием приложенной силы молекула движется в незанятый минимальный объем, образующийся за счет перераспределения свободного объема. Свободный объем  $V_f$  представляет собой тот объем, который остается после вычитания объема, занимаемого плотно упакованными молекулами жидкости, т. е.

$$V_f = V - V_0 = \alpha V_M (T - T_0),$$

где  $\alpha$  — коэффициент термического расширения.

В этой теории величина  $T_0$  является той температурой, при которой свободный объем становится равным нулю.

В соответствии с положениями теории конфигурационной энтропии Адама и Гиббса, молекулярное движение в жидкости определяется вероятностью кооперативного переустройства в отдельных подсистемах, на которые распадается полная система. Величина  $T_0$  в этой теории характеризует состояние системы с конфигурационной энтропией, равной нулю.

Анализ экспериментальных данных по уравнению (2.3) состоит в построении зависимости  $\ln W(t)$  от  $1/T - T_0$ . Линеаризация этой зависимости, проводимая обычно с помощью ЭВМ, позволяет вычислить величину  $T_0$ .

При изучении растворов NaI в формамиде найдено [126], что константа  $A$  в уравнении (2.3) от концентрации не зависит, в то время как величина  $k$  существенно возрастает при увеличении концентрации соли в растворе. Однако отношение  $k/T_0$  остается приблизительно постоянным во всем изученном интервале концентраций [1—21,6% (мол.) NaI]. Это позволяет привести уравнение (2.1) к виду

$$W(X) = A_X T^{1/2} \exp[-KT_0/(T - T_0)],$$

в котором величины  $A$  и  $K$  не зависят от концентрации.

Согласно Ангеллу [127], температура стеклования линейно зависит от концентрации соли. В этом случае значение  $T_0$



в чистом растворителе может быть определено по уравнению:

$$T_0(X) = T_0(X=0) + qX,$$

где  $T_0(X)$  — температура стеклования при концентрации  $X$  [% (мольн.)];  $T_0(X=0)$  — температура стеклования для чистого растворителя.

В ряде работ [44, 128—130] показано, что в предэкспоненциальном члене  $AT^n$  уравнения (2.3) величина  $n$  может принимать различные значения ( $-1/2$ ;  $+1/2$ ;  $0$ ;  $1$  либо любые другие значения, которые рассматриваются как подгоночный параметр). Для таких транспортных процессов, как вязкое течение и электропроводность, величина  $n$  может быть принята равной нулю.

Полезная информация о характере взаимодействия ион—растворитель может быть почерпнута из анализа температурных изменений вязкости растворов электролитов по методике, предложенной в работах [131, 132].

### 2.1.2.2. Зависимость вязкости от концентрации

Для разбавленных растворов солей при постоянной температуре зависимость вязкости от концентрации описывается, как известно, эмпирическим уравнением Джонса — Дола [133, 134]:

$$\eta_{отн} = 1 + A_\eta \sqrt{c} + B_\eta c, \quad (2.4)$$

где  $A_\eta$  и  $B_\eta$  — константы, связанные с взаимодействием ион—ион и ион—растворитель соответственно.

Для нахождения коэффициентов  $A_\eta$  и  $B_\eta$  из экспериментальных данных уравнение Джонса — Дола обычно представляется в виде

$$(\eta_{отн} - 1) / \sqrt{c} = A_\eta + B_\eta \sqrt{c}. \quad (2.5)$$

Коэффициент  $A_\eta$  (величина, получившая теоретическое обоснование в работе Фалькенгагена и Верона [135]) может быть рассчитан по уравнению

$$A_{теор} = \frac{0,2577\lambda_0}{\eta_0 (\epsilon T)^{1/2} \lambda_0^+ \lambda_0^-} \left[ 1 - 0,6863 \left( \frac{\lambda_0^+ - \lambda_0^-}{\lambda_0} \right)^2 \right].$$

Экспериментальные данные показывают, что коэффициент  $B_\eta$  является аддитивной величиной, поскольку его значения для растворов солей с одноименными ионами не зависят от природы противоиона. Однако разделение коэффициента  $B_\eta$  на ионные составляющие представляет собой непростую задачу, так как связано с введением нетермодинамических допущений. В случае водных растворов коэффициент  $B_\eta$  для ионов вычисляют исходя из допущения о равенстве для раствора  $KCl$  величин  $B_{K^+}$  и  $B_{Cl^-}$ . Для солей в неводных растворителях величины

$B_\eta$  разделяют на ионные составляющие с помощью ряда опорных (стандартных) электролитов, состоящих из крупных симметричных катионов и анионов с близкими радиусами (типа  $Bu_4N^+BPh_4^-$ ,  $Ph_4P^+BPh_4^-$  и т. п.), для которых также допускается равенство величин  $B_\eta^+$  и  $B_\eta^-$ . Это допущение основано фактически на предположении о равенстве и постоянстве эффективных объемов таких ионов при переходе от растворителя к растворителю. Учитывая их большие размеры и, вследствие этого, малую склонность к сольватации, подобное предположение можно признать достаточно обоснованным. Тем не менее приходится констатировать, что зачастую наблюдаются значительные расхождения в рассчитанных величинах ионных составляющих коэффициента  $B_\eta$  в неводных растворителях\*. В качестве примера можно привести работы, в которых определены величины  $B_\eta^\pm$  в N-ММА [136, 137] и ДМСО [138, 139]. Такие факты указывают на необходимость разработки теоретически более обоснованных методов разделения величин  $B_\eta$  на ионные составляющие, учитывающих, в частности, изменение микроструктуры растворителя вблизи иона [140, 141].

Коэффициент  $B_\eta$  зависит от размера и формы растворенных ионов (эффект Эйнштейна), а также от структурных и ориентационных эффектов, связанных с взаимодействием ион—растворитель [47], которые по разному влияют на вязкость раствора. Знак при коэффициенте  $B_\eta$  определяется тем, какой из эффектов доминирует. Для водных растворов и растворов в некоторых неводных растворителях с развитой пространственной структурой (глицерин, гликоли) коэффициент  $B_\eta$  часто принимает отрицательное значение, поскольку преобладающим эффектом в данном случае является разрушение структуры растворителя при растворении соли, что приводит к уменьшению вязкости раствора по сравнению с вязкостью самого растворителя. Для подавляющего большинства неводных растворителей коэффициент  $B_\eta$  является положительным, что свидетельствует об упрочнении структуры этих растворителей при растворении ионофоров.

Необходимо также отметить, что в отличие от водных растворов, когда с повышением температуры коэффициент  $B_\eta$  может как увеличиваться, так и уменьшаться, практически для всех неводных растворителей рост температуры приводит к уменьшению величины  $B_\eta$ . Это различие также связано со структурными особенностями воды.

Для крупных ионов (степень сольватации которых применительно к транспортным процессам можно считать пренебрежимо малой) величина  $B_\eta$  — коэффициента в неводных растворах

\* В связи с этим данные по величинам  $B_\eta^\pm$  в настоящую книгу не включены.

определяется вкладом двух основных факторов:

$$B_{\eta} = B_{\eta \text{Эйншт}} + B_{\text{структ}},$$

где  $B_{\eta \text{Эйншт}}$  — вклад, связанный с формой и размером ионов (эффект Эйнштейна);  $B_{\text{структ}}$  — вклад, обусловленный влиянием иона на структуру растворителя.

Показано [47, 142], что  $B_{\eta \text{Эйншт}} = 2,5 V_{\text{эф}}$ , где  $V_{\text{эф}}$  — эффективный объем частицы (иона) в растворе, т. е. объем частицы вместе с сольватной оболочкой.

Таким образом, при отсутствии взаимодействия ион — растворитель величина  $V_{\text{эф}}$  должна соответствовать молярному объему иона [142].

Значения  $B$ -коэффициентов для солей в неводных растворителях приведены в конце этого раздела.

Уравнение (2.5) применительно к неводным средам справедливо лишь в узком интервале концентраций (до 0,05—0,1 М). Для расширения концентрационного интервала применимости уравнения в него вводят дополнительные множители  $D$ ,  $E$  и т. д.\*

$$\eta_{\text{отн}} = 1 + A\sqrt{c} + Bc + Dc^2 + Ec^3 + \dots,$$

которые уже не обладают аддитивностью и являются обычными подгоночными параметрами [144]. В связи с этим информативность уравнения (2.5) для концентрированных растворов резко снижается.

На основании анализа данных для водных растворов ряда солей одно- и двухвалентных металлов в работах [145, 146] было предложено уравнение

$$\eta_{\text{отн}} = 1 + Am(m+B) \exp(Cm^3), \quad (2.6)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  — эмпирические параметры.

Поскольку в случае достаточно разбавленных ( $m \ll 1$ ) растворов  $\exp(Cm^3) \approx 1$ , уравнение (2.6) может быть упрощено:

$$\eta_{\text{отн}} = 1 + Dm + Am^2$$

или

$$(\eta_{\text{отн}} - 1)/m = D + Am, \quad (2.7)$$

откуда находят коэффициенты  $A$  и  $D = A \cdot B$ . Эмпирический коэффициент  $D$  в уравнении (2.7) хорошо согласуется с значениями  $B$ -коэффициентов в уравнении Джонса — Дола (2.4).

Определив значения коэффициентов  $A$  и  $B$  для разбавленных растворов и допустив, что они не меняются с концентра-

\* С этой же целью в работе [143] предложено использовать модифицированное уравнение Джонса — Дола, в котором учтена ассоциация ионов:

$$\eta_{\text{отн}} = 1 + A_{\eta} \sqrt{c} + B_{\eta} c + B' (1 - \alpha) c.$$

цией, можно вычислить коэффициент  $C$  в уравнении (2.6) для более концентрированных растворов.

Уравнение (2.6), как показано в работах [145, 146], хорошо описывает свойства водных электролитных растворов до концентрации несколько молей на 1 л. Для неводных растворов оно также справедливо в достаточно широком интервале концентраций. Тем не менее для описания вязкости двойных систем в полном концентрационном интервале оно оказалось непригодным.

Тот же недостаток имеется у ряда других предложенных в литературе уравнений, например [47]:

$$\eta_{\text{отн}} = Bc + Cc^2 \text{ или } \eta_{\text{отн}}^2 = \text{const} + Kc^2.$$

Вязкость неводных растворов ионофоров в широком концентрационном интервале может быть описана с помощью уравнения.

$$\ln \eta_{\text{отн}} = Ac(1 + ac + bc^2 + \dots).$$

Значение коэффициента  $A$  в этом уравнении близко к коэффициенту  $B$  в уравнении Джонса — Дола. Остальные коэффициенты являются подгоночными параметрами.

Для аппроксимации опытных данных по вязкости концентрированных неводных растворов применяется также уравнение [126], аналогичное уравнению Вогеля — Фульчера — Таммана:

$$W(X) = A_X T^{-1/2} \exp[-k'/(X_0 - X)],$$

где  $X_0$  — концентрация, при которой система превращается в стекло при данной температуре (т. е. концентрация, при которой транспортная функция становится равной нулю).

Анализ имеющихся в литературе данных свидетельствует о том, что изменения вязкости неводных электролитных растворов в очень широком концентрационном интервале [от (0,5—1) · 10<sup>-2</sup> М до насыщенных растворов либо чистой соли включительно] подчиняются уравнению Эйнштейна — Ванда — Стокса:

$$\ln \eta_{\text{отн}} = \beta c / (1 - \alpha c), \quad (2.8)$$

коэффициенты которого могут быть легко определены экспериментально приведением этого уравнения к линейному виду:

$$1/\ln \eta_{\text{отн}} = a + bc^{-1} \quad (2.9)$$

либо

$$c/\ln \eta_{\text{отн}} = b + ac.$$

Установлено, что между коэффициентами  $a = -\alpha/\beta$  и  $b = 1/\beta$  уравнений (2.8) и (2.9), определенными при разных температурах, существует строгая линейная зависимость. В свою очередь  $b$  линейно зависит от  $T$ .

Коэффициенты  $\beta$  уравнения (2.8) и  $B$  уравнения (2.5) имеют один и тот же четкий физический смысл и для разбавленных

растворов в пределах погрешности эксперимента совпадают друг с другом. Это следует, в частности, из анализа уравнения (2.8), который показывает, что для разбавленных растворов (когда величиной  $\alpha c$  можно пренебречь) оно переходит в уравнение

$$\ln \eta_{отн} = \beta c.$$

Разлагая же левую часть уравнения (2.8) в ряд Маклорена, находим, что при малых  $c$

$$\eta_{отн} - 1 = \beta c.$$

Таким образом, в случае разбавленных растворов различие между уравнениями (2.8) и (2.5) связано с присутствием в последнем члена  $A\sqrt{c}$ , влиянием которого обычно можно пренебречь [для примера укажем, что для растворов ионофоров с концентрацией  $(2-3) \cdot 10^{-3} M$  различие между значениями  $\eta_{отн} - 1$  и  $\ln \eta_{отн}$  не превышает 0,2%].

Уравнение (2.8) может быть представлено также в виде [147]:

$$\ln \eta_{отн} = 2,5 V_{Mэф} c / (1 - q V_{Mэф} c), \quad (2.10)$$

где  $q$  — параметр взаимодействия, учитывающий взаимное влияние растворенных сферических частиц.

Уравнение (2.10) справедливо только для неструктурированных растворителей при условии полной диссоциации ионофора. В реальных системах это уравнение имеет значительно более сложный вид:

$$\ln \eta_{отн} = \frac{[q' (V_{Mэф} - V_{Mр}) + Q_{стр} + Q_{ор} + Q_{эл}] c}{1 - q (V_{Mэф} - V_{Mр}) c},$$

где  $q'$  — коэффициент, зависящий от формы растворенных частиц (для сферических частиц равен 2,5);  $V_{Mэф}$  — эффективный молярный объем растворенной соли, зависящий от целого ряда факторов (сольватации, степени диссоциации, степени агрегации растворенного вещества);  $V_{Mр}$  — молярный объем растворителя;  $Q_{стр}$ ,  $Q_{ор}$ ,  $Q_{эл}$  — слагаемые коэффициента  $\beta$  в уравнении (2.8), обуславливающие изменение вязкости раствора и связанные соответственно со структурными и ориентационными эффектами, а также с электростатическим взаимодействием между ионами [47].

Особенностью уравнения (2.8) является то, что способ выражения концентрации раствора (моль/л, моль/кг, мольная доля) не влияет на точность аппроксимации опытных данных.

Хотя уравнение (2.8) выведено в рамках упрощенной модели (движение жестких сферических частиц в сплошной жидкой среде), оно, в отличие от многочисленных эмпирических уравнений, обладает достаточной строгостью и универсальностью (описывает также вязкость неэлектролитных систем). С помощью этого уравнения по значениям вязкости, найденным для двух концентраций при двух температурах, можно с удовлетворительной точ-

Таблица 2.1. Экспериментальные и расчетные значения вязкости в некоторых системах соль — растворитель (298 К)  
Вязкость рассчитывали по уравнению (2.8)

$c$	$\eta_{эксп}$	$\eta_{расч}$	$\delta, \%$	$c$	$\eta_{эксп}$	$\eta_{расч}$	$\delta, \%$
-----	---------------	---------------	--------------	-----	---------------	---------------	--------------

*LiClO<sub>4</sub> — пропиленкарбонат [97]*

$$(\eta_0 = 2,514; \alpha = 9,4944 \cdot 10^{-2}; \beta = 1,0644)$$

$5,103 \cdot 10^{-2}$	2,528	2,528	0	0,6049	4,965	4,978	0,3
$1,004 \cdot 10^{-2}$	2,541	2,541	0	0,9183	7,312	7,335	0,5
$3,058 \cdot 10^{-2}$	2,591	2,597	0,2	1,240	11,15	11,22	0,6
$7,072 \cdot 10^{-2}$	2,720	2,712	0,3	1,911	29,78	30,17	1,3
0,1202	2,851	2,861	0,4	2,610	102,4	101,0	1,4
0,2353	3,220	3,248	0,9				

*NaClO<sub>4</sub> — диметилсульфоксид [65]*

$$(\eta_0 = 1,9982; \alpha = 0,22976; \beta = 0,65647)$$

$4,4262 \cdot 10^{-3}$	2,0059	2,0040	0,09	0,12282	2,1644	2,1711	0,3
$1,0056 \cdot 10^{-2}$	2,0121	2,0115	0,03	0,38069	2,6010	2,6277	1,1
$1,6557 \cdot 10^{-2}$	2,0199	2,0201	1,01	0,75544	3,6837	3,6413	1,2
$4,5633 \cdot 10^{-2}$	2,0589	2,0596	0,01	1,5034	9,1551	9,0249	1,4
$5,8252 \cdot 10^{-2}$	2,0770	2,0772	0,09				

*Oct<sub>4</sub>NPi — метилацетат [102]*

$$(\eta_0 = 0,3610; \alpha = -2,4290; \beta = 28,3440)$$

$X \cdot 100$				$X \cdot 100$			
1,0116	0,4747	0,4776	0,6	19,987	16,49	16,36	0,8
2,0040	0,6215	0,6203	0,2	30,102	50,06	49,85	0,4
2,9619	0,8101	0,7903	2,5	49,905	218,2	216,0	1,0
4,9350	1,264	1,259	0,4	80,197	777,3	805,8	3,7
10,091	3,577	3,591	0,4	100,000	1456	1404	3,6

ПАРАМЕТРЫ УРАВНЕНИЯ ДЖОНСА—ДОЛА (2.4)  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И СМЕШАННЫХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
ТЕМПЕРАТУРАХ

Величина  $A'_\eta$  получена расчетным путем. Цифры в скобках означают доверительный интервал для последней значащей цифры.

*N-Метилформамид*

Соль	$A_\eta \cdot 10^3$ (298 К)	$B_\eta$ (298 К)	Соль	$A_\eta \cdot 10^3$ (298 К)	$B_\eta$ (298 К)
NaCl	4,5	0,5999	KCl	6,5	0,615
NaBr	5,0	0,567	KBr	3,9	0,584

T, K	$B_{\eta}$ для растворов солей						
	LiCl	KI	Me <sub>4</sub> NI	Et <sub>4</sub> NI	Pr <sub>4</sub> NI	Bu <sub>4</sub> NI	Pent <sub>4</sub> NI
298	0,59	0,56	0,38	0,49	0,68	0,81	0,97
303	0,55	0,54	0,42	0,52	0,71	0,85	1,00
308	0,53	0,51	0,48	0,57	0,75	0,88	1,03

*N,N*-Диметилформамид

T, K	$B_{\eta}$ для растворов солей							
	LiCl	LiNO <sub>3</sub>	LiClO <sub>4</sub>	KI	Et <sub>4</sub> NI	Pr <sub>4</sub> NI	Bu <sub>4</sub> NI	Pent <sub>4</sub> NI
298	0,59	0,72	1,06	1,10	1,07	1,25	1,34	1,40
303	0,56	0,68	1,03	1,08	1,06	1,26	1,35	1,40
308	0,54	0,63	0,93	1,08	1,06	1,25	1,35	1,40
313	0,54	—	—	1,07	1,07	1,25	1,36	1,41

Электролит (298 K)	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	Электролит (298 K)	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$
NaClO <sub>4</sub>	1,52	3,7	0,90	AgNO <sub>3</sub>	1,34	0,8	1,08
NaBPh <sub>4</sub>	2,25	4,6	1,74	Bu <sub>4</sub> NNO <sub>3</sub>	1,53	0,8	1,22
KI	1,50	0,4	1,09	Bu <sub>4</sub> NI	1,64	-1,8	1,20
KClO <sub>4</sub>	1,48	2,5	0,95	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	2,40	2,6	1,86

*N*-Метилацетамид

T, K	$B_{\eta}$ для растворов солей						
	LiCl	KI	Me <sub>4</sub> NI	Et <sub>4</sub> NI	Pr <sub>4</sub> NI	Bu <sub>4</sub> NI	Pent <sub>4</sub> NI
308	0,97	1,01	0,61	0,80	0,99	1,16	1,31
313	0,94	0,98	0,65	0,84	1,03	1,19	1,35
318	0,90	0,96	0,68	0,89	1,05	1,23	1,38
323	0,80	0,94	0,72	0,92	1,08	1,25	1,40
328	0,84	0,91	0,77	0,96	1,12	1,28	1,44

Электролит	$A'_{\eta} \cdot 10^3$	$B_{\eta}$	$D_{\eta}$	$A'_{\eta} \cdot 10^3$	$B_{\eta}$	$D_{\eta}$
	308 K			328 K		
LiCl	8,5	1,124(6)	0,68(4)	—	—	—
LiBr	8,1	1,050(4)	0,56(4)	8,6	0,980(9)	0,34(11)
NaCl	7,5	0,957(1)	0,54(10)	8,1	0,913(2)	0,34(2)
NaBr	7,2	0,885(13)	0,48(13)	7,6	0,839(3)	0,35(3)

Электролит	$A'_{\eta} \cdot 10^3$	$B_{\eta}$	$D_{\eta}$	$A'_{\eta} \cdot 10^3$	$B_{\eta}$	$D_{\eta}$
NaI	6,6	0,810(11)	0,20(12)	—	—	—
NaBPh <sub>4</sub>	9,7	1,433(31)	2,61(108)	0,102	1,290(7)	1,21(22)
KCl	7,5	0,994(20)	0,90(22)	—	—	—
KBr	7,1	0,929(7)	0,57(4)	7,6	0,888(4)	0,30(5)
KI	6,6	0,850(6)	0,40(7)	—	—	—
CsBr	6,7	0,805(6)	0,47(7)	7,2	0,759(15)	0,27(25)
CsI	6,2	0,727(3)	0,30(3)	—	—	—
Me <sub>4</sub> NCl	6,0	0,479(1)	0,15(1)	7,1	0,456(6)	0,05(4)
Me <sub>4</sub> NBr	5,8	0,415(2)	0,08(3)	—	—	—
Et <sub>4</sub> NBr	5,9	0,368(4)	0,12(9)	—	—	—
Pr <sub>4</sub> NBr	6,7	0,492(2)	0,38(2)	—	—	—
Bu <sub>4</sub> NBr	7,2	0,697(3)	0,58(6)	8,1	0,574(12)	1,30(34)
Bu <sub>4</sub> NI	6,7	0,619(1)	0,49(2)	7,6	0,562(3)	0,41(5)
Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	9,3	1,054(12)	—	0,104	0,891(8)	—
Hept <sub>4</sub> NBr	7,6	1,117(12)	1,54(37)	—	—	—
Ph <sub>4</sub> AsCl	7,9	0,977(5)	1,16(9)	9,0	0,871(11)	0,70(23)

T, K	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	T, K	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	T, K	$B_{\eta}$	T, K	$B_{\eta}$
	NaNO <sub>3</sub>					KCl			
288	-2,1	1,296	303	-4,9	1,234	288	—	303	1,33
293	-3,9	1,277	308	-2,9	1,204	293	1,37	308	1,33
298	-3,4	1,243	313	-6,9	1,182	298	1,35	313	1,31

T, K	$B_{\eta}$ для растворов солей						
	LiCl	KI	Me <sub>4</sub> NI	Et <sub>4</sub> NI	Pr <sub>4</sub> NI	Bu <sub>4</sub> NI	Pent <sub>4</sub> NI
293	1,29	1,33	0,53	0,74	1,05	1,35	1,61
298	1,25	1,30	0,58	0,78	1,10	1,39	1,64
303	1,22	1,28	0,62	0,81	1,13	1,42	1,68
308	1,19	1,26	0,66	0,86	1,18	1,46	1,70
313	1,15	1,25	0,71	0,92	1,22	1,49	1,73

## Тетраметилмочевина

Электролит (298 K)	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	Электролит (298 K)	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$
LiBr	2,03	2,67	1,83	KSCN	1,85	1,06	1,35
LiClO <sub>4</sub>	—	3,18	1,57	RbClO <sub>4</sub>	2,00	-0,51	1,26
NaClO <sub>4</sub>	2,02	5,61	1,48	CsClO <sub>4</sub>	1,97	1,89	1,09
NaSCN	1,95	-0,65	1,63	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	—	-2,89	1,36
KClO <sub>4</sub>	2,03	7,27	1,29				

Гексаметилфосфортриамид

Электролит	$A_{\eta}'$	$A_{\eta}$	$B_{\eta}$	$B_{\eta}$
	298 К			308 К
Pr <sub>4</sub> NBr	0,0147	0,027(16)	1,601(8)	1,492(5)
Bu <sub>4</sub> NBr	—	—	1,727(3)	1,606(4)
Am <sub>4</sub> NBr	0,0160	0,021(12)	1,922(7)	1,789(6)
Hex <sub>4</sub> NBr	0,0170	0,024(14)	2,114(2)	1,963(8)
Hept <sub>4</sub> NBr	0,0200	0,031(14)	2,295(4)	2,146(3)

Ацетон

Электролит (298 К)	$A_{\eta}' \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	Электролит (298 К)	$A_{\eta}' \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$
NaClO <sub>4</sub>	2,30	—	0,85	Bu <sub>4</sub> NNO <sub>3</sub>	2,38	—	0,80
NaBPh <sub>4</sub>	3,19	2,4	1,49	Bu <sub>4</sub> NI	2,40	—	0,80
KI	2,23	—	0,84	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	3,39	3,2	1,56

Ацетонитрил

Электролит	$B_{\eta}$ (298 К)	Электролит	$B_{\eta}$ (298 К)	Электролит	$B_{\eta}$ (298 К)
Me <sub>4</sub> NPi	0,78	Pr <sub>3</sub> HNPi	0,88	BuNI	0,87
Et <sub>4</sub> NBr	0,69	Pr <sub>4</sub> NPi	0,90	Bu <sub>3</sub> HNPi	0,99
Et <sub>4</sub> NPi	0,85	Pr <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	1,24	Bu <sub>4</sub> NPi	1,13
Pr <sub>4</sub> NI	0,71	Bu <sub>4</sub> NBr	0,93	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	1,35

Диметилсульфоксид

Электролит	$A_{\eta}'$	$A_{\eta}$	$B_{\eta}$	$B_{\eta}$
	298 К			308 К
Pr <sub>4</sub> NBr	0,0119	0,009(3)	0,749(3)	0,695(2)
Bu <sub>4</sub> NBr	0,0128	0,011(4)	0,902(3)	0,842(3)
Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	0,0178	0,013(3)	0,847(5)	0,790(3)
Am <sub>4</sub> NBr	0,0135	0,013(4)	1,002(2)	0,937(2)
Hex <sub>4</sub> NBr	0,0137	0,013(3)	1,107(2)	1,039(4)
Hept <sub>4</sub> NBr	0,0141	0,010(5)	1,264(4)	1,199(3)
Ph <sub>4</sub> PBr	0,0133	0,007(6)	1,356(4)	1,270(1)
Ph <sub>4</sub> PBh <sub>4</sub>	0,0199	0,021(6)	1,721(9)	1,609(6)

Электролит	$A_{\eta}' \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	$B_{\eta}$
	298 К		308 К	318 К
LiBr	1,30	0,907(3)	0,860(3)	0,820(4)
LiI	—	0,880(4)	0,837(5)	0,803(5)
NaCl	1,18	0,792(4)	0,739(6)	0,700(5)
NaBr	1,18	0,833(2)	0,783(2)	0,739(2)
NaI	1,19	0,806(2)	0,760(3)	0,722(3)
NaBPh <sub>4</sub>	1,74	1,248(6)	1,178(5)	1,114(5)
KBr	1,16	0,843(2)	0,796(2)	0,757(1)
KI	1,17	0,818(6)	0,767(6)	0,731(5)
RbBr	1,13	0,822(2)	0,779(2)	0,744(2)
RbI	—	0,795(3)	0,756(4)	0,727(4)
CsBr	1,10	0,791(2)	0,748(1)	0,714(1)
CsI	—	0,764(3)	0,725(4)	0,697(4)
( <i>изо</i> -Pent) <sub>3</sub> NBPh <sub>4</sub>	1,98	1,428(5)	1,338(4)	1,260(4)

Метанол

Электролит (298 К)	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	Электролит (298 К)	$B_{\eta}$
KCl	1,51	0,7635	Me <sub>4</sub> NBr	0,35
KBr	1,42	0,7396	Et <sub>4</sub> NBr	0,48
KI	1,59	0,6747	Pr <sub>4</sub> NBr	0,66
NH <sub>4</sub> Cl	1,83	0,6610	Bu <sub>4</sub> NBr	0,85
CaCl <sub>2</sub>	-4,1	1,44	Bu <sub>4</sub> NI	0,80
ZnCl <sub>2</sub>	-8,5	0,650		

Этиленгликоль

Глицерин

	KI	CsI		KI	CsI
$B_{\eta}$ (298 К)	0,0327	-0,080	$B_{\eta}$ (298 К)	-0,185	-0,408

Этиленкарбонат

Пропиленкарбонат

Электролит	$B_{\eta}$ при T, К				$B_{\eta}$ при T, К				
	313	318	323	328	303	308	313	318	323
LiI	—	—	—	—	1,288	1,284	1,279	1,286	1,289
NaI	0,821	0,801	0,791	0,750	0,901	0,898	0,900	0,901	0,900
KI	0,652	0,638	0,652	0,669	0,886	0,885	0,887	0,887	0,886
RbI	0,581	0,574	0,576	0,568	0,734	0,735	0,734	0,735	0,732
Me <sub>4</sub> NI	0,571	0,560	0,551	0,543	0,729	0,730	0,730	0,730	0,729
Et <sub>4</sub> NI	0,712	0,712	0,702	0,711	0,912	0,912	0,913	0,912	0,913
Pr <sub>4</sub> NI	0,794	0,801	0,793	0,795	0,929	0,928	0,928	0,929	0,929

Продолжение

Электролит	$B_{\eta}$ при T, K				$B_{\eta}$ при T, K				
	313	318	323	328	303	308	313	318	323
Bu <sub>4</sub> NI	0,920	0,923	0,910	0,912	0,939	0,941	0,939	0,940	0,940
Am <sub>4</sub> NI	1,042	1,049	1,051	1,050	0,959	0,958	0,959	0,959	0,959
Hex <sub>4</sub> NI	1,203	1,203	1,193	1,202	1,380	1,381	1,379	1,380	1,380
Hept <sub>4</sub> NI	1,302	1,321	1,312	1,313	1,425	1,424	1,425	1,425	1,425

*Bu<sub>4</sub>NBPh<sub>4</sub> в апротонных растворителях (298 K)*

Растворитель	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	Растворитель	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$
N,N-DMФ	2,40	2,80	1,96(3)	АН	2,43	2,30	1,32(2)
N,N-ДМА	2,33	2,40	1,93(2)	ДМСО	1,96	1,80	1,45(4)
ТММ	2,97	3,00	2,01(4)	НМ	2,40	2,00	1,29(6)
ГМФА	2,77	3,20	2,99(6)	НБ	2,52	2,40	1,40(2)
Ац	3,39	3,20	1,54(2)	ПК	1,70	1,60	1,46(2)
МЭК	3,63	3,70	2,02(3)				

*Ацетон — N,N-диметилформамид*

Электролит (298 K)	Параметры уравнения (2.4) при содержании ацетона в смеси, % (мол.)					
	90			80		
	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$
NaClO <sub>4</sub>	2,23	1,8	1,05	2,13	1,8	1,11
NaBPh <sub>4</sub>	3,09	3,0	1,93	2,99	2,0	2,04
KI	2,15	—	—	2,05	—	0,89
KClO <sub>4</sub>	—	—	—	2,04	1,2	0,94
AgNO <sub>3</sub>	1,92	—	1,05	1,83	—	1,10
Bu <sub>4</sub> NNO <sub>3</sub>	2,15	—	1,03	2,05	—	1,06
Bu <sub>4</sub> NI	2,31	—	1,04	2,20	—	1,06
Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	3,22	4,6	1,92	3,07	5,2	2,04

	60			30			10		
	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$	$A'_{\eta} \cdot 10^2$	$A_{\eta} \cdot 10^2$	$B_{\eta}$
	NaClO <sub>4</sub>	1,91	3,4	1,15	1,65	3,2	1,00	1,57	2,8
NaBPh <sub>4</sub>	2,66	2,8	2,18	2,34	3,4	2,00	2,23	3,4	1,77
KI	1,85	3,4	1,04	1,65	1,5	1,00	1,54	2,0	1,11
KClO <sub>4</sub>	1,85	4,0	1,00	1,62	—1,2	1,00	1,53	2,4	0,96
AgNO <sub>3</sub>	1,65	2,4	1,22	1,47	0,8	1,14	1,38	0,6	1,00
Bu <sub>4</sub> NNO <sub>3</sub>	1,86	2,8	1,25	1,65	3,4	1,32	1,55	3,6	1,20
Bu <sub>4</sub> NI	1,99	1,4	1,15	1,77	1,2	1,20	1,66	1,2	1,23
Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	2,77	4,8	2,14	2,50	4,6	2,20	2,38	5,6	1,95

ностью (среднеквадратичное отклонение не превышает 5%) рассчитать значения вязкости для всего концентрационного и температурного интервала существования жидкой системы соль — неводный растворитель.

Несколько примеров, иллюстрирующих справедливость сказанного, приведено в табл. 2.1 (см. с. 69).

### 2.1.3. Электропроводность

#### 2.1.3.1. Зависимость молярной электропроводности от концентрации

Теория электропроводности растворов сильных электролитов берет свое начало с уравнения Онзагера [148]

$$\lambda = \lambda_0 - S\sqrt{c},$$

которое по форме полностью совпадает с известным эмпирическим уравнением Кольрауша. Онзагер, используя положения теории Дебая — Хюккеля, показал, что тангенс угла наклона этой зависимости  $S$  (так называемый предельный онзагеровский наклон) может быть рассчитан по уравнению

$$S = B_1\lambda_0 + B_2,$$

в котором выражения для величин  $B_1$  и  $B_2$  в случае 1-1-валентных электролитов имеют следующий вид:

$$B_1 = 82,04 \cdot 10^4 / (\epsilon T)^{3/2}; \quad B_2 = 82,501 / \eta (\epsilon T)^{1/2}.$$

Для неассоциированных несимметричных (2-1, 3-1) электролитов значения  $B_1$  и  $B_2$  приведены в работе [148].

Величина  $B_1$  связана с релаксационным эффектом, величина  $B_2$  — с электрофоретическим. Таким образом

$$\lambda = \lambda_0 - \lambda_s - \lambda_p,$$

где  $\lambda_s$  и  $\lambda_p$  — члены, отражающие снижение подвижности ионов из-за электрофоретического и релаксационного эффектов.

Уравнение Онзагера послужило основой для вывода целого ряда уравнений, описывающих зависимость молярной электропроводности от концентрации для неассоциированных и ассоциированных электролитов (Фуосса — Онзагера [149], Фуосса — Хсиа [150], Фуосса — Онзагера — Скиннера [151], Бартеля [157], Питса [152], Чена — Онзагера [153], Фуосса-75 [154], Фуосса-78 [155], Фуосса-80 [156] и т. д.). Сопоставительный анализ уравнений электропроводности содержится в работах [148, 157—159].

Все предложенные в литературе уравнения для ассоциированных электролитов относятся к типу

$$\lambda = (\lambda_0, K_{ac}, a, c)$$

и описывают количественно зависимость молярной электропро-

водности от концентрации только в области разбавленных растворов  $(0,5-1) \cdot 10^{-2} M$ .

Для расчета констант ассоциации сильно ассоциированных электролитов применимо любое из уравнений электропроводности\*. Иногда для этих целей, кроме перечисленных выше уравнений, используются также уравнения Крауса — Брея, Фуосса — Крауса и Шедловского [147, 148].

Достаточно надежный расчет констант ассоциации слабо-ассоциированных ионофоров стал возможен благодаря появлению трехпараметровых уравнений. Однако даже при использовании этих уравнений возникают большие затруднения при определении констант ассоциации сильных электролитов. Как подчеркивается в работе [148], вопрос состоит скорее в том, как велико должно быть значение  $K_{ac}$ , чтобы эта константа имела физический смысл, а не представляла фиктивную величину, удобную для проведения анализа.

Использование современных уравнений электропроводности ввиду их сложности невозможно без применения ЭВМ. Блок-схема обработки экспериментальных данных с помощью ЭВМ приведена в работах [160—162].

Необходимо подчеркнуть одно чрезвычайно важное обстоятельство, которое на практике часто во внимание не принимается: для расчета малых констант ассоциации, кроме высокой степени надежности применяемых уравнений, требуется очень высокая точность экспериментальных данных (суммарная погрешность определения электропроводности не должна превышать 0,01%).

В литературе предпринимались попытки расширить концентрационный интервал применимости уравнений электропроводности. Здесь в первую очередь следует отметить работы Эбелинга с сотр. [163—166], в которых с использованием принципа среднесферического приближения на основании закона действующих масс выведено уравнение, описывающее концентрационную зависимость электропроводности сильных электролитов в воде вплоть до концентрации  $\approx 1 M$ . В ряде работ показано [147, 167], что молярная электропроводность водных растворов полностью диссоциированных электролитов в широком концентрационном интервале (до нескольких молей на литр) описывается уравнением Уайшоу — Стокса, в котором учтено изменение вязкости растворов с ростом концентрации соли:

$$\lambda = \left[ \lambda_0 - \frac{(B_1 \lambda_0 F + B_2) \sqrt{c}}{1 + Ba \sqrt{c}} + \frac{B_1 B_2 F c}{(1 + Ba \sqrt{c})^2} \right] \eta^{-1}_{отн.} \quad (2.11)$$

где  $F = [\exp(0,2929 Ba \sqrt{c}) - 1] / Ba \sqrt{c}$ .

\* При условии корректного определения величины  $\lambda_0$  (подробнее об этом см. гл. 4).

С этой же целью может быть использовано имеющее менее сложный вид уравнение Робинсона — Стокса, в которое введена поправка на вязкость раствора:

$$\lambda = \left[ \lambda_0 - \frac{(B_1 \lambda_0 + B_2) \sqrt{c}}{1 + Ba \sqrt{c}} \right] \eta^{-1}_{отн.} \quad (2.12)$$

Расчет коэффициентов  $B, B_1, B_2$  в уравнениях (2.11) и (2.12) производится обычным способом [147], параметр  $a$  (расстояние наибольшего сближения ионов), зависящий от физических и химических свойств растворителя и растворенного вещества, может быть определен по известным значениям  $\lambda$  и  $\eta$  для раствора произвольной концентрации либо выбран на основании литературных данных [168]. Анализ показывает, что уравнения (2.11) и (2.12) описывают в широком интервале концентраций (от разбавленных до насыщенных растворов) электропроводность целого ряда ионофоров в высокополярных растворителях (N-метилпропионамид, формамид, пропиленкарбонат, диметилсульфоксид, бутиролактон и т. п.) с погрешностью не превышающей несколько процентов.

Применение к уравнениям (2.11) и (2.12) закона действующих масс для учета ионной ассоциации позволяет получить модифицированные уравнения, отличающиеся от исходных дополнительным множителем  $1/(1 + K_{ac} \alpha c \gamma^2)$ . Полученные трехпараметровые уравнения могут успешно применяться для расчета констант ассоциации электролитов в средах любой полярности.

Примечательно, что для растворителей с высокой  $\epsilon$  расчет  $K_{ac}, \lambda_0$  и параметра  $a$  (при подстановке в коэффициент  $B_2$  истинных значений вязкости раствора) может проводиться по растворам любых концентраций (от разбавленных до насыщенных). В качестве примера ниже приводятся результаты расчета по модифицированному уравнению (2.11) для некоторых электролитных систем.

*LiCl — вода [169]*

$c$	0,593	1,195	2,100	3,250	5,620	7,420	10,50
$\lambda_{эксп}$	80,50	70,47	59,78	49,40	33,50	23,50	11,67
$\lambda_{расч}$	79,88	70,60	60,67	50,54	33,68	23,74	11,44

$$\lambda_0 \cdot 10 = 115,03; \quad a = 0,50 \text{ нм}; \quad K_{ac} = 0,032$$

*NH<sub>4</sub>I — формамид [124]*

$c$	0,3660	0,7048	1,1258	1,7340	2,1101	2,7683	3,9733	5,1200	5,4625
$\lambda_{эксп}$	24,33	21,88	19,41	16,41	14,79	12,28	8,62	6,00	5,36
$\lambda_{расч}$	24,11	21,60	19,20	16,41	14,90	12,53	8,414	5,861	5,224

$$\lambda_0 \cdot 10 = 31,9; \quad a = 0,51 \text{ нм}; \quad K_{ac} = 0,094$$

*NaI* — ацетонитрил [170]

<i>c</i>	0,1301	0,2500	0,3051	0,3428	0,4222	0,5211	0,8530
$\lambda_{\text{эксп}}$	96,038	80,237	75,157	72,163	66,049	59,003	45,043
$\lambda_{\text{расч}}$	97,098	80,584	75,141	71,885	65,099	60,017	44,544

$\lambda_0 \cdot 10 = 178,1;$        $a = 0,52 \text{ нм};$        $K_{\text{ас}} = 3,42$

Из приведенных данных видно, что максимальное расхождение между экспериментальными и расчетными значениями  $\lambda$  составляет  $\approx 2\%$  (т. е. не превышает суммарной погрешности определения электропроводности и вязкости в концентрированных растворах), а найденные значения  $\lambda_0$ ,  $K_{\text{ас}}$  и параметра  $a$  хорошо согласуются с результатами расчетов для разбавленных растворов [142, 147, 150, 168, 171—175].

Таким образом, есть все основания считать, что расширение концентрационного интервала применимости теоретических уравнений электропроводности в средах различной полярности (в том числе и в низкополярных растворителях) возможно лишь при учете реальных свойств концентрированных растворов электролитов (вязкость, диэлектрическая проницаемость), которые весьма существенно отличаются от свойств чистых растворителей.

Молярная электропроводность, как известно, уменьшается с ростом концентрации электролитов, что связано с уменьшением степени диссоциации и (или) подвижности ионов. Первый фактор играет доминирующую роль в растворителях с низкой  $\epsilon$ , второй — в растворителях с высокой  $\epsilon$ . Еще в прошлом веке И. А. Каблуков, изучая растворы хлористого водорода в пентаноле, открыл явление аномальной электропроводности, которое заключается в возрастании молярной электропроводности при увеличении концентрации электролита. Дальнейшие исследования показали, что для многих электролитов (как ионогенов, так и ионофоров) в растворителях с  $\epsilon < 30$  наблюдается аномальная электропроводность.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в растворителях с низкими  $\epsilon$  зависимость  $\lambda$ — $c$  носит сложный характер. На рис. 2 в качестве примера приведена зависимость  $\lambda$ — $c$  для растворов  $\text{LiClO}_4$  в метилацетате ( $\epsilon = 6,7$ ) [86]. Из рисунка видно, что молярная электропроводность после прохождения минимума резко возрастает. При дальнейшем увеличении концентрации соли  $\lambda$ , пройдя через максимум, вновь начинает уменьшаться. В некоторых работах [176, 177] появление на зависимости  $\lambda$ — $c$  максимума связывается с образованием в растворе ионных квадруполь. Однако такое объяснение представляется неверным, поскольку концентрационная зависимость  $\lambda_{\text{кор}}$  (либо  $\lambda\eta$ , которая отличается от  $\lambda_{\text{кор}}$  на постоянный множитель  $1/\eta_0$ ) максимума не имеет. Таким образом, простой учет вяз-

кости вполне позволяет обойтись без концепции ионных квадруполь. Минимум же на зависимостях  $\lambda\eta$ — $c$  не только исчезает, но проявляется в еще более отчетливой форме.

Анализ многочисленных экспериментальных данных показывает, что минимум на зависимостях исправленной молярной электропроводности от концентрации может в определенных условиях (концентрационный интервал, температура) наблюдаться во всех растворителях, независимо от их диэлектрической проницаемости, и определяется в первую очередь природой самого ионофора [величиной  $(\lambda\eta)_0$  чистой соли]. Наглядной иллюстрацией сказанного могут служить данные по исправленной молярной электропроводности  $\lambda\eta$  при различных температурах для растворов  $\text{LiClO}_4$  в пропиленкарбонате (рис. 3) [97], а также данные для растворов  $\text{Bu}_4\text{N}^+\text{Pi}^-$  (рис. 4) [178, 179],  $\text{Pent}_4\text{N}^+\text{SCN}^-$  [180] и  $\text{Oct}_4\text{N}^+\text{Pi}^-$  [102] (рис. 5) в ряде растворителей. Таким образом, рост исправленной молярной электропроводности с повышением концентрации происходит во всех двойных системах соль—растворитель в том случае, если величина  $(\lambda\eta)_0$  чистой соли имеет достаточно высокое значение. Как правило, у типичных ионофоров величина  $(\lambda\eta)_0$  из-за отсутствия

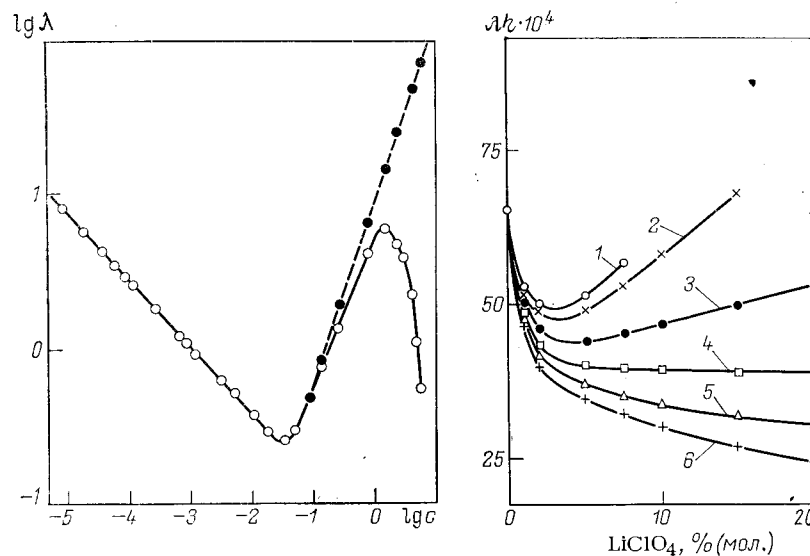


Рис. 2. Зависимость  $\lg \lambda$ — $\lg c$  для растворов  $\text{LiClO}_4$  в  $\text{MeAc}$  при 298 К. Пунктиром обозначена зависимость  $\lg(\lambda\eta_{\text{отн}}) - \lg c$

Рис. 3. Изотермы исправленной на вязкость молярной электропроводности  $(\lambda\eta)$  для двойной системы  $\text{LiClO}_4$ —ПК:

1 — 238 К; 2 — 248 К; 3 — 273 К; 4 — 298 К; 5 — 323 К; 6 — 348 К



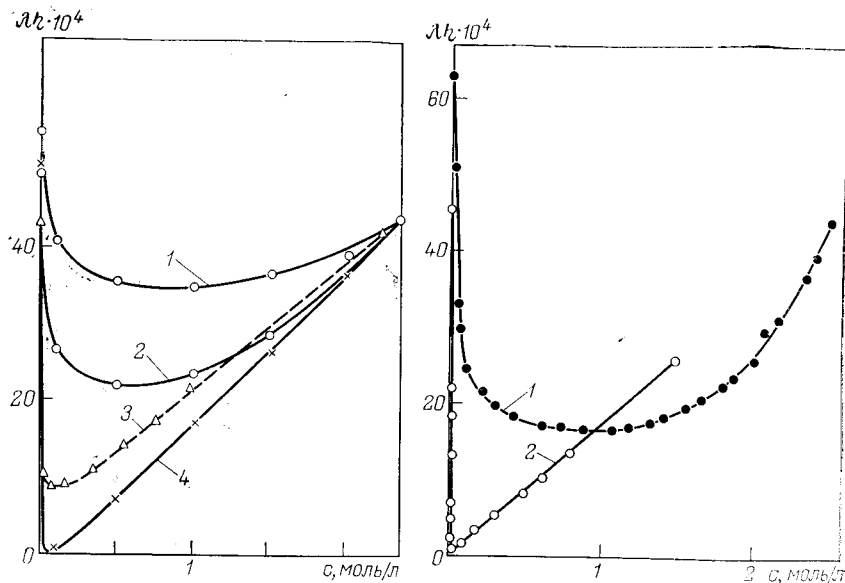


Рис. 4. Изотермы исправленной на вязкость молярной электропроводности для систем, образованных  $(C_4H_9)_4NPI$  и различными растворителями при 364 К:

1 — ЭК; 2 — НБ; 3 — BuOH; 4 — анизол

Рис. 5. Изотермы исправленной на вязкость молярной электропроводности для систем:

1 — Pent<sub>4</sub>NSCN — НБ (325 К); 2 — Oct<sub>4</sub>NPI — MeAc (298 К)

ассоциации ионов и их большой подвижности (ионы не сольватированы) весьма высока [100]\*. Следует, правда, отметить, что для растворителей с высокой  $\epsilon$  минимум на зависимости  $\lambda\eta$ — $c$  часто находится за пределами растворимости большинства ионофоров.

Явление аномальной электропроводности, т. е. появление минимума на зависимости  $\lambda$ — $c$ , в литературе чаще всего трактуется с позиций теории Фуосса и Крауса, которая связывает этот факт с образованием в растворе ионных тройников [181]. В соответствии с этой теорией, вклад в электропроводность свободных ионов и ионных тройников в области минимума одинаков. После прохождения минимума электропроводность начинает возрастать за счет увеличения в растворе концентрации ионных тройников. Однако эта точка зрения не является общепринятой. По мнению А. М. Сухотина [182], появление

\* Величина  $(\lambda\eta)_0$  сравнима (а иногда и превышает) величину  $\lambda_0\eta_0$  для данного ионофора в индивидуальном растворителе.

минимума на изотермах  $\lambda$  в растворителях с низкими  $\epsilon$  можно объяснить без привлечения представлений о ионных тройниках, а именно — сдвигом равновесия  $K^+A^- \rightleftharpoons K^+ + A^-$  вправо за счет возрастания диэлектрической проницаемости среды по мере увеличения концентрации раствора. Аналогичных взглядов придерживаются авторы работ [165, 183], в которых количественное описание электропроводности в средах с низкими  $\epsilon$  выполнено на основании закона действующих масс и принципа среднесферического приближения для процесса образования ионных пар (а не ионных тройников).

Заметим, однако, что сейчас не приходится сомневаться в достоверности существования ионных тройников и даже более сложных ионных ассоциатов в средах с низкой диэлектрической проницаемостью. Это подтверждено с помощью ряда независимых методов [184—186]. В то же время сомнительно, чтобы появление в растворе ионных тройников могло быть причиной увеличения электропроводности, поскольку при их образовании происходит исчезновение равного количества более подвижных свободных ионов. Что же касается возможности дополнительного образования тройников из ионных квадруполей, то, даже если эта схема действительно имеет место, все же остается неясной причина диссоциации квадруполей при увеличении концентрации соли. Бесспорно только одно: резкое возрастание молярной электропроводности после прохождения точки минимума вызвано появлением в растворе дополнительного количества заряженных частиц. А это возможно только при соответствующем возрастании степени диссоциации соли.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в области больших разбавлений диэлектрическая проницаемость растворов ионофоров в высокополярных растворителях с ростом концентрации соли снижается, в то время как в низкополярных растворителях, напротив, возрастает. По-видимому, именно последнее обстоятельство, связанное с ростом концентрации обладающих очень большим дипольным моментом (8—20Д) [187] ионных ассоциатов при увеличении концентрации соли в растворе, сочетающееся с изменением характера концентрационной зависимости коэффициента активности\*, предопределяет появление минимума на зависимости  $\lambda(\lambda\eta)$ — $c$ . Дальнейший же рост концентрации соли в бинарной системе соль — растворитель должен неминуемо приводить к увеличению степени диссоциации соли и сближению свойств растворов в полярных и неполярных растворителях, поскольку истинные ионофоры в индивидуальном состоянии полностью диссоциированы [100].

\* Как показано А. М. Сухотиным [182], коэффициенты активности электролитов в средах с низкой  $\epsilon$  изменяются в соответствии с эмпирическим уравнением  $\lg \gamma = -Ac^{1/3}$ , где  $A$  — эмпирическая константа.

### 2.1.3.2. Зависимость удельной электропроводности от концентрации

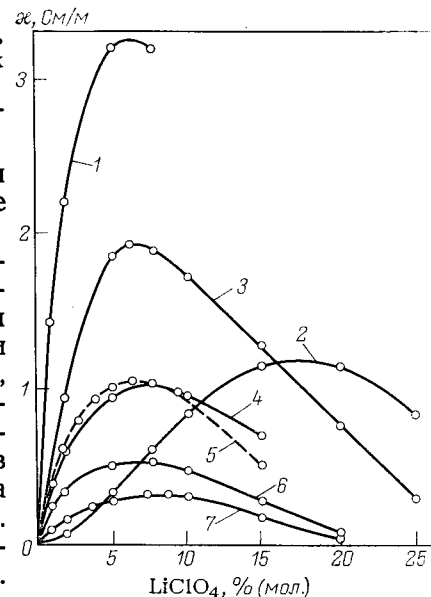
Анализ имеющихся в литературе данных по удельной электропроводности концентрированных неводных растворов ионофоров (большинство из них приведено в настоящей книге) позволяет выявить некоторые общие закономерности, существенно облегчающие направленный подбор электролитных композиций для различных практических целей.

В тех случаях, когда растворимость ионофоров в неводных растворителях достаточно высока, на изотермах  $\kappa$  реализуется максимум, положение и величина которого определяются природой исходных компонентов. В случае высокополярных растворителей природа ионофора обычно значительно сильнее сказывается на величине  $\kappa^{\max}$ , чем на его положении относительно оси состава [44, 66]. Так, для большинства солей в апротонных растворителях с  $\epsilon > 35$  максимум наблюдается при концентрациях 6–9% (мольн.) соли, что соответствует  $\approx 1M$  растворам. Исключение составляют лишь некоторые тетраалкиламмониевые соли, в частности  $Et_4NPF_6$ , для раствора которого в пропиленкарбонате  $\kappa^{\max}$  проявляется в области 15,5% (мольн.) ( $\approx 2M$ ). Причины такой аномалии рассмотрены ниже.

По мере уменьшения  $\epsilon$  растворителя  $\kappa^{\max}$  закономерно сдвигается в область более высоких концентраций соли. В качестве примера на рис. 6 приведены изотермы  $\kappa$  растворов  $LiClO_4$  в ряде органических растворителей [188]. (Перхлорат лития хорошо растворим во многих органических растворителях и образует растворы с высокой электропроводностью. По этой причине он является удобным объектом при проведении систематических исследований свойств неводных электролитных растворов.) Объясняется это тем, что в растворителях с низкой  $\epsilon$  ионофоры в разбавленных растворах находятся практически в недиссоциированном состоянии. Поэтому  $\kappa$  здесь очень мала. В более концентрированных растворах (после прохождения точки минимума на зависимости  $\lambda-c$ ) вследствие постепенного снижения степени ассоциации соли происходит резкое возрастание  $\kappa$ , поначалу значительно опережающее увеличение вязкости растворов ( $d\kappa/dC \gg d\eta/dC$ ). Однако по мере увеличения содержания соли в растворе рост вязкости начинает превалировать\*, что приводит в конечном итоге к появлению максимума на изотерме, но уже при существенно больших концентрациях, чем в растворителях с высокой  $\epsilon$ . Так, в растворах  $LiClO_4$  в метилацетате ( $\epsilon=6,7$ ) и этилацетате ( $\epsilon=6,0$ )  $\kappa^{\max}$  локализуется при концентрациях 17 и 19% (мольн.) соответственно, а в систе-

\* Зависимость вязкости от концентрации в растворах ионофоров в соответствии с уравнением (2.7) носит экспоненциальный характер.

Рис. 6. Удельная электропроводность растворов  $LiClO_4$  в органических растворителях при 298 К:  
1 — АН; 2 — MeAc; 3 — ДМФ; 4 — БЛ; 5 — ДМСО; 6 — ПК; 7 — N-МПА



ме  $Pent_4N\text{SCN}$  — *n*-ксилол ( $\epsilon=2,2$ )  $\kappa^{\max}$  расположен уже в области 36% (мольн.) соли.

В высокополярных растворителях, в которых состояние ионофора приближается к полной диссоциации и почти не зависит от концентрации, основное влияние на местоположение максимума  $\kappa$  оказывает вязкость компонентов (вернее, величина  $\ln \eta_2/\eta_1$ ), а также их мольные объемы. Вязкость ионофоров в индивидуальном состоянии (см. табл. 1.3) намного превосходит вязкость подавляющего большинства растворителей. Именно это обстоятельство предопределяет локализацию  $\kappa^{\max}$  в довольно узком концентрационном интервале [6–9% (мольн.) соли]. Если же  $\kappa^{\max}$  сдвигается в сторону больших концентраций, как это наблюдается в системе  $Et_4NPF_6$  — пропиленкарбонат, то причиной тому является несколько меньшая вязкость данного ионофора по сравнению с другими 1-1-валентными солями.

Для ионофоров с известной в индивидуальном состоянии вязкостью оценить положение максимума на изотермах  $\kappa$  в высокополярных растворителях можно по уравнению [189]:

$$X_{\max} = \frac{b-a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b-a}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}ab},$$

где  $b = [\ln(V_{M_2}\eta_2/V_{M_1}\eta_1)]^{-1}$ ;  $a = V_{M_1}/V_{M_2} - V_{M_1}$ . Индексы 1 и 2 относятся соответственно к растворителю и соли.

С понижением температуры максимум на изотермах  $\kappa$  довольно ощутимо смещается в область менее концентрированных растворов. Это обстоятельство обязательно следует принимать во внимание при использовании электролитных растворов в технических устройствах, предназначенных для работы в широком температурном интервале. Характерно, что такое смещение наблюдается для всех без исключения растворителей, независимо от их полярности. На рис. 7 приведены изотермы удельной электропроводности растворов  $LiClO_4$  в N-метилпро-

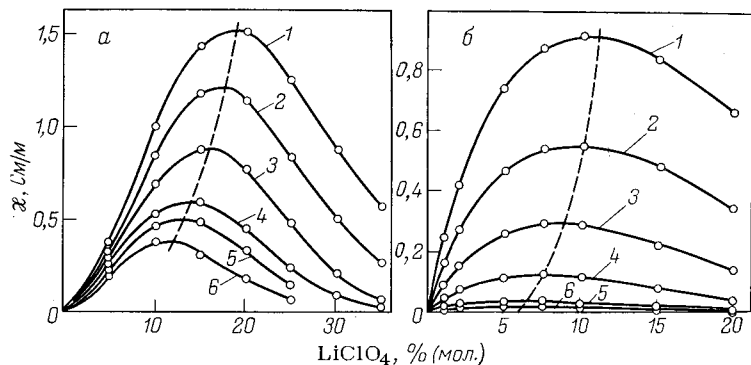


Рис. 7. Удельная электропроводность растворов  $\text{LiClO}_4$  при различных температурах:

*a* — в  $\text{MeAc}$ : 1 — 323 К, 2 — 298 К, 3 — 273 К, 4 — 248 К, 5 — 238 К, 6 — 223 К; *b* — в  $\text{N-MPA}$ : 1 — 348 К, 2 — 323 К, 3 — 298 К, 4 — 273 К, 5 — 248 К, 6 — 238 К

пионамиде ( $\epsilon = 175$ ) и метилацетате ( $\epsilon = 6,7$ ). Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что температурный сдвиг  $\kappa^{\text{max}}$  связан не только (и не столько) с изменениями  $K_{\text{ac}}$  ионофора (вследствие изменений  $\epsilon$ ). Основной причиной здесь является изменение величины  $\ln(\eta_2/\eta_1)$ , которое вследствие высокой вязкости ионофора всегда возрастает с понижением температуры. Подробнее этот вопрос обсуждается в работе [190].

Удельная электропроводность растворов ионофоров может быть описана с помощью предложенного Кастилом и Амисом [191] эмпирического уравнения:

$$\frac{\kappa}{\kappa^{\text{max}}} = \left(\frac{m}{\mu}\right)^a \exp\left[b(m - \mu)^2 - \frac{a}{\mu}(m - \mu)\right],$$

где  $\mu$  — моляльность, при которой реализуется  $\kappa^{\text{max}}$ ;  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты.

Проверка этого уравнения на растворах ряда солей в пропиленкарбонате показала, что оно удовлетворительно аппроксимирует экспериментальные данные в достаточно широком концентрационном интервале (до 1,5—2,0  $m$ ). Интересно отметить, что отношение  $\kappa^{\text{max}}/\mu$  в пропиленкарбонате практически не зависит от природы соли. Это также свидетельствует о том, что в растворителях с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью и сольватирующей способностью вязкость и эффективные ионные радиусы являются теми основными факторами, которые определяют ход изотермы  $\kappa$  в концентрированных растворах ионофоров.

Для описания концентрационной зависимости  $\kappa$  в системах электролит — индифферентный растворитель в литературе пред-

Таблица 2.2. Электропроводность 1 М растворов солей щелочных металлов и тетраалкиламмония в апротонных органических растворителях (298 К)

Соль	κ для растворов солей в растворителях											
	ПК	ДМСО	БЛ	ДМФ	АН	Ру	ТГФ	глим	MeForm	EtForm	MeAc	EtAc
LiCl	*	0,597	*	0,779	*	*	*	*	*	*	*	*
LiBr	*	0,925	0,239	1,21	*	*	*	*	*	*	*	*
LiI	*	0,867	0,883	1,65	2,60	0,749	—	—	—	—	0,294	—
LiNO <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	0,134	—	—	—	—	—	—
LiClO <sub>4</sub>	0,518	0,994	1,01	1,90	3,21	*	0,31	*	0,827	0,555	*	0,346
LiFSO <sub>3</sub>	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>	0,194	—	0,418	1,56	0,913	0,412	—	—	—	0,106	—	—
LiCF <sub>3</sub> CO <sub>2</sub>	0,061	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LiSCN	0,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LiPi	*	0,571	0,156	1,08	*	0,156	*	—	—	0,164	*	—
LiAlCl <sub>4</sub>	*	—	*	—	—	—	—	—	—	*	—	—
LiPF <sub>6</sub>	0,59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LiAsF <sub>6</sub>	0,60	—	—	—	4,80	—	—	—	—	—	—	—
LiBF <sub>4</sub>	0,352	—	0,671	1,89	*	*	1,37	—	—	—	—	—
NaI	0,625	—	1,28	*	3,89	*	0,18	—	—	—	—	—
NaClO <sub>4</sub>	—	1,16	0,283	—	1,53	—	—	—	—	—	—	—
NaB(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub>	0,141	0,262	*	0,558	*	*	—	—	—	—	—	—
KBr	*	—	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KI	*	1,05	*	2,18	*	*	—	—	—	—	—	—
KClO <sub>4</sub>	*	1,15	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>	0,470	—	0,843	1,89	*	*	0,342	—	—	—	—	—
(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> NI	*	—	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub> **	*	—	*	1,29	2,58	*	—	—	—	—	—	—
(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub> **	—	—	—	0,935	2,25	0,599	0,277	—	—	—	—	—

Примечание. Знаком \* отмечены соли, растворимость которых при 298 К меньше 1 моль/л. \*\* При 295 К.

ложен еще ряд эмпирических и полуэмпирических уравнений [192—194], связывающих свойства электролитного раствора со свойствами компонентов раствора.

Выше отмечалось, что растворы ионофоров в апротонных растворителях с  $\epsilon > 35$  характеризуются максимумом на изотермах  $\kappa$  в области концентраций  $\approx 1$  М. Именно такие растворы находят наиболее широкое практическое применение [195—197]. Поэтому анализ данных по электропроводности 1 М растворов различных ионофоров (табл. 2.2, 2.3) представляет вполне понятный интерес. Из приведенных данных видно, что наибольшей электропроводностью обладают растворы перхлоратов, иодидов, тетрафторборатов, трифторметансульфонатов. Результаты работы [98] позволяют дополнить этот перечень роданидами и некоторыми солями с комплексными анионами, такими, как  $\text{AsF}_6^-$  и  $\text{PF}_6^-$ .

Для солей с общим анионом при возрастании кристаллографического радиуса катиона (например, в ряду  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) электропроводность растворов увеличивается. Кстати, приведенные в табл. 2.2 данные позволяют попутно подтвердить известный вывод о том, что растворимость электролитов 1-1 понижается с увеличением кристаллографического радиуса катиона и уменьшением радиуса аниона. К сожалению, из-за плохой растворимости солей в неводных растворителях не удается более полно проанализировать влияние природы ионо-

Таблица 2.3. Свойства 1 М растворов электролитов в органических растворителях при различных температурах [198]

Растворитель	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, К			$\eta \cdot 10^3$ при T, К			$\kappa \cdot 10$ при T, К		
	273	298	323	273	298	323	273	298	323
<b>LiClO<sub>4</sub></b>									
ДМФ	1,0393	1,0164	0,9935	3,149	1,937	1,330	12,3	19,0	26,3
АН	Крист. 0,8627	0,8393	Крист. 0,8150	3,021	0,6552	0,5108	25,4	32,1	37,5
ТГФ	0,9916	0,9684	0,9452	1,555	1,005	0,8351	—	3,10	—
БЛ	1,2110	1,1875	1,1643	7,800	4,119	2,561	6,29	10,1	14,2
ПК	1,2835	1,2593	1,2332	19,69	8,108	4,422	2,53	5,18	8,43
MeAc	1,0276	0,9982	0,9685	0,9720	0,6973	0,5225	4,77	5,55	6,51
EtAc	0,9908	0,9636	0,9350	1,324	0,8906	0,6452	2,80	3,46	3,98
<b>LiI</b>									
Py	1,0974	1,0741	1,0505	3,849	2,200	1,340	5,04	7,50	9,93
ДМФ	1,0625	1,0389	1,0150	3,021	1,830	1,239	10,4	16,5	23,7
АН	0,9128	0,8867	0,8598	0,9349	0,6620	0,500	19,1	26,0	33,2
БЛ	1,2294	1,2054	1,1867	7,201	3,871	2,351	5,05	8,84	13,7
ПК	1,3009	1,2745	1,2482	20,91	6,561	2,981	2,08	4,65	8,32
MeAc	1,0600	1,0287	0,9963	1,159	0,7569	0,5480	2,09	2,95	3,98
<b>KI</b>									
ДМФ	1,0917	1,0669	1,0421	3,030	1,810	1,220	13,6	21,8	30,2

Таблица 2.4. Электропроводность растворов  $\text{LiClO}_4$  в некоторых органических растворителях (298 К)

Растворитель	$\epsilon$	$\lambda_{\eta} \cdot 10^4$ при c			$\lambda_0 \eta_0 \cdot 10^4$	$\lambda_0 \eta_0 V_M^{1/3} \cdot 10^4$	$\frac{\lambda_0 \eta_0 V_M^{1/3}}{\kappa \eta (c=1)}$
		0,0001	0,001	1			
N-Метилпропионамид	175	64,5	61,9	41,2	60,79	27,71	0,673
Пропиленкарбонат	65,0	66,8	64,5	42,0	66,87	29,45	0,701
Бутиролактон	41,6	69,6	66,4	42,0	69,89	29,50	0,702
N,N-Диметилформамид	36,7	60,3	56,5	36,8	61,93	26,40	0,717

фора на электропроводность концентрированных растворов. Однако проведенные исследования [197, 198] показали, что имеется достаточно четкая корреляция (особенно в случае высокополярных растворителей) между свойствами концентрированных и разбавленных растворов. В качестве примера, иллюстрирующего справедливость этого утверждения, в табл. 2.4 представлены данные по исправленной электропроводности растворов перхлората лития в ряде органических растворителей. Еще лучшая корреляция наблюдается между свойствами разбавленных и концентрированных растворов при введении в величину  $\lambda_{\eta}$  поправки на мольный объем [199, 200].

Из приведенных в таблице данных следует, что в высокополярных растворителях ( $\epsilon > 40$ ) с достаточно хорошей сольватирующей способностью величина  $\epsilon$  растворителя практически не сказывается на электролитных свойствах растворов. Объясняется это тем, что для бинарного электролита электростатический вклад в химический потенциал моля ионов равен [201]

$$\mu^0 = \frac{N_A z^2 e^2}{2\epsilon} \left( \frac{1}{r^+} + \frac{1}{r^-} \right),$$

откуда следует, что полярность среды оказывает влияние на стабильность ионов лишь тогда, когда диэлектрическая проницаемость мала. Так, в метилацетате ( $\epsilon=6,7$ ) электростатическая энергия моля ионов с радиусом 0,2 нм на 107 кДж меньше, чем в 1,4-диоксане ( $\epsilon=2,2$ ), в то время как в N-метилпропионамиде ( $\epsilon=175$ ) и бутиролактоне ( $\epsilon=41,6$ ) эта разность составляет всего 6,4 кДж.

Так как разбавленные растворы электролитов изучены значительно полнее, чем концентрированные, указанная закономерность может быть использована при направленном подборе электролитных композиций.

Хотя для некоторых солей, особенно с комплексными анионами типа  $\text{AsF}_6^-$ , в литературе [98, 128, 202—205] приводятся весьма различающиеся данные по электропроводности 1 М растворов (что, по-видимому, связано со сложностью их очистки), общая тенденция влияния природы ионов на величину

электропроводности выявляется достаточно отчетливо. Анализ экспериментальных данных по электропроводности изомолярных растворов (от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 M$ ) 1-1-электролитов [197] позволяет расположить их в следующие ряды:

соли с общим анионом  $Me_4N^+ > Et_4N^+ \geq Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Pr_4N^+ > Na^+ > Bu_4N^+ \approx Li^+ > Pent_4N^+ > Oct_4N^+$ ;

соли с общим катионом  $SCN^- \geq ClO_4^- > AsF_6^- > I^- \approx PF_6^- \approx BF_4^- > CF_3SO_3^- > Br^- > Pi^- > Cl^- > BPh_4^-$ .

Таким образом, наибольшую электропроводность среди солей с одинаковым катионом имеют те, у которых эффективный радиус анионов (в апротонных растворителях из-за слабой сольватации он близок к кристаллографическому) составляет 0,2—0,3 нм. К таким анионам относятся  $SCN^-$ ,  $ClO_4^-$ ,  $AsF_6^-$ ,  $I^-$ ,  $PF_6^-$ ,  $BF_4^-$ . Из солей с одинаковым анионом лучшими электролитными свойствами обладают те, эффективный радиус катионов которых находится в тех же пределах ( $Me_4N^+$ ,  $Et_4N^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Rb^+$ ).

Разумеется, приведенная выше последовательность сохраняется в широком интервале концентраций (до  $1 M$  включительно) лишь в апротонных растворителях с достаточно высокими значениями  $\epsilon$  и  $DN$ . В этом случае основное влияние на электропроводность оказывает подвижность ионов, различающаяся в соответствии с их эффективными радиусами, которые при переходе от растворителя к растворителю меняются незначительно. В низкоосновных растворителях, таких, например, как нитрометан ( $DN=2,4$ ), который слабо сольватирует катионы, последовательность в расположении солей будет иной. Иная последовательность будет наблюдаться и в протонных растворителях, в которых происходит энергичная сольватация небольших по размеру анионов за счет образования водородных связей с молекулами растворителя.

В растворителях с низкой  $\epsilon$  основное влияние на электропроводность оказывает уже не подвижность ионов, а их концентрация, которая определяется степенью ассоциации данного ионофора в данном растворителе. Поэтому в таких растворителях лучшими электролитными свойствами, особенно в умеренно концентрированных растворах, в ряду солей с одинаковыми катионами либо анионами обладают соли с большими по размеру противоионами ( $Bu_4N^+$ ,  $BPh_4^-$  и т. д.). Исключение здесь составляют только пикраты, которые имеют в низкополярных растворителях невысокую электропроводность, явно не соответствующую кристаллографическому радиусу иона  $Pi^-$  (0,36 нм). Это можно объяснить тем, что, в отличие от симметричных анионов типа  $BR_4^-$  с делокализованным отрицательным зарядом, в ионе  $Pi^-$  имеется повышенная электронная плотность на атомах кислорода. Вот почему во многих растворителях он

ведет себя подобно анионам с небольшим кристаллографическим радиусом.

Необходимо также отметить, что снижение  $\epsilon$  способствует значительному усилению дифференцирующего действия растворителей на силу ионофоров, что особенно ощутимо проявляется в разбавленных растворах. Уменьшение сольватирующей способности растворителя действует в том же направлении, так как при этом сдвигается равновесие между сольватно-разделенными и контактными ионными парами в сторону последних. В таких случаях оказываются полезными различные комплексообразующие добавки (краун-эфиры, криптанды), которые, сильно увеличивая размеры соответствующих ионов, эффективно экранируют их от взаимодействия с противоионом. Это приводит к резкому ослаблению ассоциации ионов и увеличению электропроводности растворов. Примеры такого рода могут быть почерпнуты из работ [206—211].

Электропроводность водных растворов электролитов, как известно [203], значительно (на 1—2 порядка) выше электропроводности наиболее проводящих неводных растворов. Этот факт принято связывать с различием в диэлектрической проницаемости воды и неводных растворителей [203]. В обзорной работе [212] отмечается, что в литературе можно встретить утверждения о существовании прямой пропорциональной зависимости между электропроводностью растворов и отношением  $\epsilon/\eta$  растворителей. Однако подобные утверждения, полностью игнорирующие химическую природу растворителя, не согласуются с экспериментальными данными. Ряд растворителей, например N-замещенные амиды карбоновых кислот, ацетонитрил, имеют более высокие значения  $\epsilon$  (либо  $\epsilon/\eta$ ), чем вода. Однако и в этих растворителях  $\kappa$  растворов ионофоров также существенно ниже, чем для растворов в воде\*.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что для широкого круга объектов простые корреляции между отдельными физическими параметрами растворителей и электропроводностью растворов никогда не соблюдаются. Такая зависимость может наблюдаться только в ряду подобных растворителей со сходной химической природой либо в смешанных растворителях, когда только один из компонентов смеси является сольватирующим, а остальные — инертными.

Исходя из общей схемы равновесий в растворах, а также из современных представлений о структуре жидкостей и механизмах ионной миграции [47, 213], можно выделить ряд факто-

\* Высокая электропроводность растворов ионофоров в воде объясняется тем, что вода имеет оптимальный набор физико-химических параметров: очень высокую сольватирующую способность, очень малый молярный объем, высокую диэлектрическую проницаемость и невысокую вязкость.

ров, влияющих на электропроводность. Основными из них являются следующие: суммарная энергия сольватации всех видов частиц, присутствующих в растворе, радиус заряженных частиц, диэлектрическая проницаемость, дипольный момент молекул растворителя, а также его вязкость и мольный объем. Вот почему трудно допустить существование некоторого единого свойства растворителя [4], которое коррелировало бы с электропроводностью растворов и охватывало все группы растворителей. Более подробно эти вопросы обсуждаются в работе [198], в которой для расчета электропроводности 1 М растворов ионофоров предложено корреляционное уравнение, учитывающее целый ряд параметров растворителя и соли:

$$\kappa = A \exp \{ aDN / (r_{кр}^+)^2 + bAN / (r_{кр}^-)^2 + \mu [c / (r_{кр}^+)^2 + d / (r_{кр}^-)^2] + e / \epsilon \} / \eta_0 V_M^{1/3}, \quad (2.13)$$

где  $A$  — коэффициент пропорциональности;  $a, b, c, d, e$  — эмпирические коэффициенты.

В ряде случаев уравнение (2.13) может быть упрощено. Так, для 1 М растворов литиевых солей в апротонных органических растворителях, когда сольватацией анионов можно пренебречь, а  $r_{кр}$  катиона — величина постоянная, уравнение (2.13) принимает вид:

$$\kappa = A \exp (aDN + b\mu + c/\epsilon) / \eta_0 V_M^{1/3},$$

где  $A, a, b, c$  — коэффициенты, постоянные для данной соли во всех растворителях.

Показано, что это уравнение может быть применено для расчета удельной электропроводности растворов 1-1-валентных электролитов не только в индивидуальных, но и смешанных растворителях.

Способы определения необходимых для этого параметров смешанных растворителей приведены в работе [198].

Основным фактором, обуславливающим появление максимума на зависимости удельной электропроводности от концентрации в растворах ионофоров, как говорилось об этом выше, является вязкость раствора. Исправление электропроводности на вязкость приводит к исчезновению максимума на изотермах  $\kappa$ . Значения  $\kappa\eta$  увеличиваются с ростом концентрации соли, однако геометрия изотерм  $\kappa\eta$  —  $c$  существенно различается для растворителей с высокой и низкой  $\epsilon$  (рис. 8). В высокополярных растворителях зависимость  $\kappa\eta$  —  $c$  носит линейный характер до концентраций 1,0—1,5 М [199, 200]. Подробно вопрос о геометрии изотерм  $\kappa\eta$  обсуждается в работе [190]. Необходимо также отметить, что различие между значениями  $\kappa\eta$  ( $\lambda\eta$ ) в низкопо-

лярных и высокополярных растворителях с ростом концентрации соли уменьшается. В высококонцентрированных растворах [20% (мольн.) и выше] эти величины уже мало отличаются друг от друга. Указанный факт является прямым доказательством того, что в таких растворах состояние соли в тех и других растворителях (степень ее ассоциации) примерно одинаково.

### 2.1.3.3. Зависимость электропроводности от температуры

В высокополярных растворителях изменения электропроводности растворов ионофоров с температурой происходят симбатно с изменениями текучести ( $1/\eta$ ). Поэтому все закономерности, характерные для зависимости вязкого течения от температуры (см. разд. 2.1.2), справедливы также и для электропроводности. В частности, для описания температурных изменений электропроводности может применяться уравнение Вогеля — Фульчера — Таммана.

Электропроводность растворов электролитов в целом ряде растворителей с низкой  $\epsilon$  (тетрагидрофуран, диметоксиэтан, тионилхлорид, простые эфиры, эфиры карбоновых кислот и т. д.) уменьшается при повышении температуры [92, 95, 214]. На рис. 9 приведена зависимость электропроводности от концентрации растворов  $\text{LiClO}_4$  в метилацетате при различных температурах. Из этих данных видно, что отрицательный температурный коэффициент электропроводности (ОТКЭ) проявляется в определенной области концентраций, ограниченной двумя точками инверсии. Первая точка (она на рисунке не показана) лежит в области весьма разбавленных растворов ( $\leq 1 \cdot 10^{-7}$  М), вторая — в области 0,1—0,2 М. Условия появления ОТКЭ в электролитных растворах рассматривались в ряде работ [42, 214—218]. Анализ экспериментальных данных убеждает в том, что ОТКЭ характерен только для растворов слабых электролитов, в которых изменение электропроводности с концентрацией подчиняется уравнению Оствальда. Неслож-

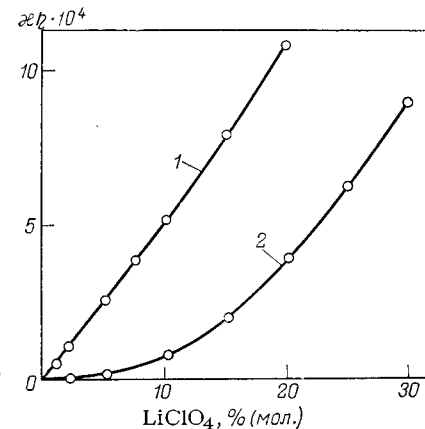


Рис. 8. Исправленная на вязкость электропроводность растворов  $\text{LiClO}_4$  в ПК (1) и MeAc (2) при 298 К

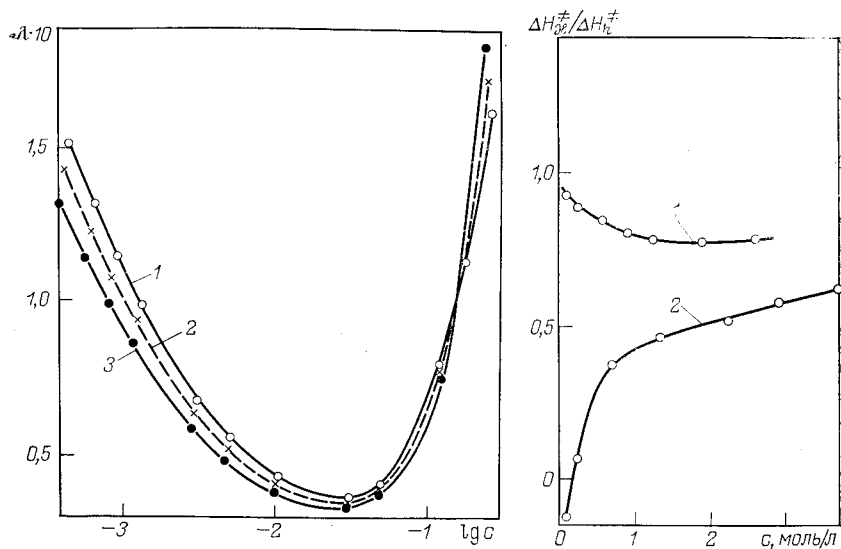


Рис. 9. Зависимость  $\lambda - \lg c$  для растворов  $\text{LiClO}_4$  при различных температурах: 1 — 273 К; 2 — 298 К; 3 — 323 К

Рис. 10. Зависимость отношения  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger} / \Delta H_{\eta}^{\ddagger}$  от концентрации растворов  $\text{LiClO}_4$  в ПК (1) и  $\text{MeAc}$  (2) при 298 К

но показать [197, 214], что энтальпия (энергия) удельной электропроводности в таких растворах определяется выражением:

$$\Delta H_{\kappa}^{\ddagger} = \Delta H_{\eta}^{\ddagger} - \frac{1}{2} \Delta H_{ac} + \frac{1}{2} R \frac{\partial \ln \rho}{\partial (1/T)} + R \left[ \frac{\partial (1/\epsilon)}{\partial (1/T)} + \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{\partial B}{\partial (1/T)} \right], \quad (2.14)$$

где  $B$  — коэффициент, зависящий от температуры.

Диэлектрическая проницаемость низкополярных растворителей, как правило, почти не изменяется при изменении температуры. Поскольку температурные изменения  $\rho$  также малы, знак  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger}$  (а следовательно, и температурного коэффициента электропроводности  $\beta_{\kappa}$ , от которого  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger}$  отличается лишь на постоянный множитель [219]) определяется величинами  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger}$  и  $\Delta H_{ac}$ . На примере растворов ряда солей в метилацетате показано [214], что ОТКЭ наблюдается в случае солей с небольшими по размеру анионами и катионами ( $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiCl}$  и т. д.). В растворах таких солей, как  $\text{LiBPh}_4$ ,  $\text{Bu}_4\text{NBPh}_4$ ,

$\text{Oct}_4\text{NBPh}_4$  ОТКЭ отсутствует. Подобное различие в свойствах растворов солей в одном и том же растворителе обусловлено различным влиянием температуры на их  $K_{ac}$ . Для солей с крупными ионами изменение  $K_{ac}$  с температурой незначительно. В этом случае знак  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger}$  определяется величиной  $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ , которая всегда положительна. Для солей с малыми ионами, напротив,  $K_{ac}$  зависит от температуры весьма существенно. В области ОТКЭ в соответствии с уравнением (2.14)  $\frac{1}{2} \Delta H_{ac}$  по абсолютной величине больше  $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ .

При увеличении концентрации раствора вязкость возрастает. Поэтому для более концентрированных растворов величина  $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$  становится больше  $\frac{1}{2} \Delta H_{ac}$  и знак температурного коэффициента электропроводности меняется с отрицательного на положительный. Кроме увеличения вязкости растворов, приводящего к росту  $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ , существенную роль здесь играет уменьшение степени ассоциации соли, сопровождающееся уменьшением  $\Delta H_{ac}$ . Последний фактор является определяющим в той области разбавленных растворов, где знак  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger}$  ( $\beta_{\kappa}$ ) также претерпевает обращение.

Таким образом, малая вязкость и низкая диэлектрическая проницаемость среды являются необходимыми [216, 217], но недостаточными условиями появления ОТКЭ. Дополнительное условие — существенное снижение концентрации ионов при повышении температуры, которое происходит только в растворах солей с небольшими по размеру ионами (т. е. при наличии сильного межмолекулярного взаимодействия). В вязких и полярных средах ОТКЭ возможен лишь при значительном повышении температуры, приводящем к резкому уменьшению вязкости и диэлектрической проницаемости среды.

Анализ концентрационных изменений термодинамических параметров активации транспортных процессов позволяет обнаружить существенные различия в свойствах растворов ионофоров в растворителях с высокими и низкими  $\epsilon$ . Эти различия очень велики в области разбавленных растворов и уменьшаются по мере увеличения их концентрации (рис. 10). Особый интерес представляет концентрационная зависимость отношения  $\Delta H_{\kappa}^{\ddagger} / \Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ , которое для растворов с одним и тем же механизмом проводимости (в данном случае обычным ион-миграционным, или стоковским) позволяет достаточно надежно фиксировать изменения степени ассоциации соли в растворе (в растворителях с высокой  $\epsilon$  это отношение приближается к единице во всем концентрационном интервале). Данные, приведенные на рис. 10, полностью подтверждают сделанный выше (на основе анализа изменений величин исправленной электропроводности) вывод о том, что при достаточно больших концентрациях ионофоров полярность растворителя мало сказывается на электролитных свойствах растворов. Мало-

Таблица 2.5. Энтальпия активации электропроводности 1 М растворов ионофоров в органических апротонных растворителях (298 К)

Ионофор	$\Delta H_{\neq}^{\ddagger}$ в растворителях						
	ПК	БЛ	ДМФ	АН	Ру	ТГФ	МеАс
LiCl	—	—	8,5	—	—	—	—
LiBr	—	14,2	9,1	—	—	—	—
LiI	20,3	14,6	12,2	8,1	10,1	—	9,5
LiClO <sub>4</sub>	17,7	11,8	10,4	5,9	—	6,1	4,3
LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>	17,2	12,3	10,6	7,1	8,2	—	5,0
LiBF <sub>4</sub>	17,2	11,1	10,1	—	—	5,5	4,2
LiPi	—	17,2	12,2	—	15,0	—	11,1
NaI	18,2	13,0	—	5,9	—	—	—
NaBPh <sub>4</sub>	33,0	23,9	19,4	15,6	—	—	15,3
KI	—	—	11,6	—	—	—	—
KCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>	16,6	11,8	9,3	—	—	—	—

она сказывается и на степени структурированности концентрированных растворов ионофоров, о чем свидетельствует ход зависимостей  $\Delta H_{\neq}^{\ddagger} - c$  в растворителях с высокими и низкими  $\epsilon$ .

Сопоставление энтальпий активации электропроводности 1 М растворов ионофоров в органических апротонных растворителях (табл. 2.5) показывает, что с увеличением кристаллографического радиуса катиона  $\Delta H_{\neq}^{\ddagger}$  (а следовательно, и  $\beta_+$ ) уменьшается, а с увеличением радиуса аниона — за редким исключением, возрастает.

#### 2.1.4. Числа переноса ионов

Важные сведения о механизме электропроводности и природе ионов могут быть получены при изучении чисел переноса, под которыми обычно подразумевают долю тока, переносимую ионами данного вида. Однако экспериментально определить эту величину удается лишь тогда, когда электролит подвергается полной диссоциации по простейшей схеме с образованием ионов двух видов. В неводных средах (особенно с невысокой  $\epsilon$ ) часто образуются различные ионные ассоциаты, причем один и тот же элемент может входить в состав противоионов. Аналогичные затруднения возникают при изучении чисел переноса в концентрированных неводных растворах, образованных ионогенами, когда точный состав ионов заранее неизвестен и устанавливается экспериментальным путем. Во всех таких системах непосредственно из опыта можно определить только число моль-эквивалентов данного элемента, переносимое через раствор одним фарадеем электричества [148]; числа же пере-

носа отдельных ионов находят расчетным путем. Методика таких расчетов приведена в работах [185, 220, 221].

Существующие методы определения чисел переноса ионов в разбавленных растворах электролитов (метод движущейся границы, метод ЭДС и др.) подробно изложены в литературе [6, 148]. Для исследования концентрированных неводных растворов наиболее часто используется метод электролиза (метод Гитторфа). Особенно удобна его радиоизотопная модификация [117]. Применение радиоактивных индикаторов позволяет избежать многих сложностей, возникающих при электролизе концентрированных неводных растворов и отражающихся на точности эксперимента [67].

Для описания концентрационных зависимостей чисел переноса симметричных неассоциированных электролитов применяются уравнения, выведенные на основании теории межионного взаимодействия Дебая — Хюккеля — Онзагера. Для симметричных неассоциированных электролитов уравнение электропроводности может быть записано в виде

$$\lambda = (\lambda_0 - \lambda_3) \left( 1 + \frac{\Delta X}{X} \right), \quad (2.15)$$

где  $\lambda_0$  — уменьшение электропроводности за счет электрофоретического эффекта:  $\lambda_0 = B_2 \sqrt{c} / (1 + Ba \sqrt{c})$ ;  $\Delta X/X$  — релаксационный фактор.

Так как по определению  $t_i = \lambda_i / \lambda$ , то с учетом уравнения (2.15), записанного для ионной и молярной электропроводности, получим:

$$t_i = \frac{\lambda_0^i - 0,5\lambda_3}{\lambda_0 - \lambda_3}$$

или

$$t_i = \frac{\lambda_0^i - 0,5B_2 \sqrt{c} / (1 + Ba \sqrt{c})}{\lambda_0 - B_2 \sqrt{c} / (1 + Ba \sqrt{c})}. \quad (2.16)$$

Уравнение (2.16) количественно описывает зависимость чисел переноса от концентрации для электролитов 1-1 в растворителях с достаточно высокой  $\epsilon$  (H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH) в широком интервале концентраций (до 1—2 М) [147].

Путем несложных преобразований уравнение (2.16) приводится к виду:

$$t_i = t_i^0 + \frac{(t_i - 0,5) B_2 \sqrt{c}}{\lambda_0 (1 + Ba \sqrt{c})}, \quad (2.17)$$



где  $t_i^0$  — число переноса иона при бесконечном разбавлении, которое может быть получено экстраполяцией на нулевую концентрацию зависимости  $t_i - \sqrt{c} / (1 + B_2 \sqrt{c})$ .

Однако из уравнения (2.17) вытекает, что указанная зависимость близка к линейной только для достаточно разбавленных растворов, в которых величина  $t_i$ , входящая в качестве составной части в тангенс угла наклона этой зависимости, близка к  $t_i^0$ . Чтобы преодолеть это затруднение, уравнение для чисел переноса представляется в виде [6]

$$(t_i^0) = \frac{t_i \lambda' + 0,5 B_2 \sqrt{c}}{\lambda' + B_2 \sqrt{c}},$$

где  $\lambda' = \lambda_0 - B_2 \sqrt{c}$ .

Рассчитываемые по этому уравнению величины ( $t_i^0$ ) хотя и не являются постоянными, но изменяются линейно с концентрацией:

$$(t_i^0) = t_i^0 + bc,$$

что позволяет путем экстраполяции к нулевой концентрации находить предельные числа переноса ионов и на основании полученных величин  $t_i^0$  проводить разделение предельной молярной проводимости на ионные составляющие. В растворителях с достаточно высокой  $\epsilon$  полученные таким способом величины  $\lambda_0^i$  хорошо согласуются (в пределах 1—3%) с величинами, рассчитанными с помощью непрямых методов, основанных на применении опорных электролитов [148, 222, 223].

Что касается температурных изменений чисел переноса, то, как справедливо отмечено в [148], для электролитов, подчиняющихся закону Стокса, температурная зависимость чисел переноса должна отсутствовать. Вообще же следует отметить, что, поскольку числа переноса представляют собой отношение подвижностей ионов, их изменение с температурой и концентрацией определяется совокупностью тех же факторов, которые влияют на изменение подвижностей соответствующих ионов (структура раствора, числа сольватации ионов, диэлектрическое насыщение и изменение микровязкости в присольватном слое). В том случае, если перенос заряда осуществляется по эстафетному механизму, изменение структуры раствора под влиянием температуры или концентрации может особенно сильно сказываться на изменении подвижностей ионов и, следовательно, на их числах переноса [224].

Ниже приводятся значения чисел переноса ионов в различных неводных растворах.

## ЧИСЛА ПЕРЕНОСА ИОНОВ В НЕВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Г — метод Гитторфа; ДГ — метод движущейся границы.  
Числа переноса при бесконечном разбавлении отмечены знаком  $\infty$ ; (ср.) — средние значения

Соль (метод; T, K)	Конц. интервал, c	$t^+$
<i>Фосфорилхлорид (Г)</i>		
AlCl <sub>3</sub>	≈ 0,3m	0,956
SbCl <sub>5</sub>	≈ 0,5m	0,950
<i>Серная кислота (Г)</i>		
LiHSO <sub>4</sub>	0,56m	0,012
NaHSO <sub>4</sub>	0,8m	0,021
KHSO <sub>4</sub> (298—334 K)	0,6—1,2m	0,03—0,025
AgHSO <sub>4</sub>	0,25—0,3m	0,026—0,022
Ba(HSO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,17—0,8m	0,009—0,004
Sr(HSO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,2—0,8m	0,007—0,003
<i>Хлорсульфоновая кислота (Г)</i>		
NaSO <sub>3</sub> Cl	0,05—0,15	0,11(∞)
Ba(SO <sub>3</sub> Cl) <sub>2</sub>	0,08—0,17	0,06(∞)
<i>Формамид</i>		
KCl (Г; 298—323 K)	0,1—0,5	0,4190(∞)
KCl (ДГ)	0,01—0,1	0,427(∞)
KCl (Г)	0,2—0,6	0,406(∞)
KCl (Г)	0,02—0,15	0,4093(∞)
KI (ЭДС)	0,2	0,409
<i>N-Метилформамид (Г; 298 K)</i>		
KBr	0,05—0,3	0,508(∞)
<i>N-Метилацетамид (Г; 313 K)</i>		
KCl	0,02—0,07	0,4292(∞)
KBr	0,1—0,3	0,3900(∞)
<i>N-Метилпропионамид (Г; 303 K)</i>		
KBr	0,07—0,25	0,4320(∞)
<i>N,N-Диметилформамид</i>		
LiCl (Г)	0,1—0,5	0,295(∞)
LiCl (Г)	0,1—1,25	0,22
LiClO <sub>4</sub> (Г)	1,0	0,25
KI (ЭДС)	0,2	0,318
KSCN (ДГ)	0,005—0,013	0,331(∞)
<i>Ацетон</i>		
AgNO <sub>3</sub> (ЭДС, 292 K)	5 · 10 <sup>-4</sup> —0,02	0,44(∞)
KSCN (ДГ)	(1,1—2,4) · 10 <sup>-3</sup>	0,376(∞)
<i>Муравьиная кислота (Г)</i>		
NaHCO <sub>2</sub>	≈ 0,25	0,220
KHCO <sub>2</sub>	0,1—0,4	0,255 (ср.)
Ca(HCO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	0,25—0,4	0,2 (ср.)

Соль (метод; T, K)	Конц. интервал, с	t <sup>+</sup>
<i>Уксусная кислота (Г)</i>		
NH <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub>	0,2—2,0	0,50(∞)
NaCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub>	0,3—0,9	0,50(∞)
<i>Ацетонитрил</i>		
AgNO <sub>3</sub> (ЭДС)	0,002—0,1	0,458 (ср.)
LiClO <sub>4</sub> (Г)	1,0	0,32
Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub> (ДГ)	6·10 <sup>-4</sup> —0,01	0,4768(∞)
<i>Бензонитрил (ЭДС)</i>		
AgNO <sub>3</sub> (298 K)	0,002—0,1	0,466 (ср.)
AgNO <sub>3</sub>	0,002—0,1	0,461 (ср.)
<i>Диметилсульфоксид</i>		
AgClO <sub>4</sub> (Г)	0,02—0,1	0,404(∞)
HCl (Г; комн.)	1,0	≈0,3
LiCl (ЭДС)	0,01—1,0	0,34(∞)
LiNO <sub>3</sub> (Г)	0,1	0,246
KI (ЭДС)	0,1	0,344
<i>Сульфолан (Г; 303 K)</i>		
AgClO <sub>4</sub> (Г)	0,02—0,1	0,4 (ср.)
<i>Метанол</i>		
KCl (ЭДС)	0,004—0,15	0,735(∞)
LiCl (ЭДС; 298—308 K)	0,006≈0,6	≈0,33(∞)
NaCl (ДГ)	0,003—0,01	0,4633(∞)
NaCl (ЭДС)	0,002—0,2	0,485 (ср.)
KCl (ДГ)	0,005—0,02	0,5001(∞)
KBr (ДГ)	0,04—0,1	0,479(∞)
KI (ЭДС)	0,1	0,437
KSCN (ДГ)	0,02—0,1	0,455(∞)
<i>Этанол</i>		
HCl (Г)	0,1—0,6	≈0,67(∞)
AgNO <sub>3</sub> (ЭДС, Г; 313 K)	≈0,01	0,4
AgClO <sub>4</sub> * (Г)	—	0,36(∞)
LiCl* (Г)	0,007—0,06	0,41(∞)
LiCl (ДГ)	0,001—0,0025	0,4393(∞)
LiCl (ЭДС; 298—308 K)	0,006—0,6	≈0,33(∞)
NaCl (ДГ)	0,001—0,0025	0,4813(∞)
KSCN (ДГ)	0,001—0,0075	0,461(∞)
UO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (Г)	10—20% (масс.)	≈0,39(∞)
<i>Этиленгликоль (ДГ)</i>		
KCl	0,005—0,050	0,4765(∞)

\* 99,7% EtOH.

Соль (метод; T, K)	Конц. интервал, с	t <sup>+</sup>					
<i>Нитрометан (ДГ)</i>							
Me <sub>4</sub> NCl	0,002—0,01	0,4674(∞)					
Me <sub>4</sub> NBr	0,002—0,01	0,4663(∞)					
Et <sub>4</sub> NCl	0,002—0,01	0,4320(∞)					
Et <sub>4</sub> NBr	0,002—0,01	0,4314(∞)					
Pr <sub>4</sub> NCl	0,002—0,01	0,3843(∞)					
Pr <sub>4</sub> NBr	0,002—0,01	0,3835(∞)					
Bu <sub>4</sub> NCl	0,002—0,01	0,3526(∞)					
Bu <sub>4</sub> NBr	0,002—0,01	0,3513(∞)					
<i>Бутиролактон (Г; комн.)</i>							
AgNO <sub>3</sub>	0,01	0,59					
<i>Пропиленкарбонат</i>							
LiBr (ЭДС)	0,003—0,15	0,24(∞)					
LiClO <sub>4</sub> (ЭДС)	0,02—0,2	0,28(∞)					
LiClO <sub>4</sub> (Г)	1,0	0,19					
LiAlCl <sub>4</sub> (Г; комн.)	0,6	0,29					
KPF <sub>6</sub> (Г; комн.)	0,47	0,2					
KPF <sub>6</sub> (ДГ)	0,05—0,5	0,55(∞)					
KI в N,N-диметилформамиде (Г)							
m	t <sup>+</sup> при T, K						
	298	303	308	318			
0,000	0,369	0,372	0,375	0,382			
0,100	0,3315	0,3380	0,3436	0,3539			
0,150	0,3290	0,3342	0,3398	0,3505			
0,200	0,3259	0,3320	0,3365	0,3472			
0,250	0,3227	0,3275	0,3322	0,3442			
0,300	0,3186	0,3240	0,3281	0,3403			
0,350	0,3160	0,3203	0,3248	0,3368			
Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub> и Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub> в ацетонитриле (ДГ)							
m·10 <sup>3</sup>	t <sup>+</sup> при T, K						
	238	248	258	268	278	288	298
1,60736	0,47436	0,47457	0,47467	0,47494	0,47507	0,47546	0,47565
3,19515	0,47387	0,47439	0,47460	0,47471	0,47510	0,47544	0,47569
6,44144	0,47358	0,47383	0,47407	0,47467	0,47481	0,47528	0,47562
9,35741	0,47305	0,47402	0,47428	0,47464	0,47494	0,47538	
12,8653	0,47287	0,47327	0,47360	0,47401	0,47445	0,47463	0,47518
16,8120	0,47267	0,47289	0,47333	0,47392	0,47413	0,47456	0,47501
21,5089			0,47322	0,47365	0,47413	0,47451	0,47492

Продолжение

$m \cdot 10^3$	$t^+$ при $T, K$						
	238	248	258	268	278	288	298
$Et_4NClO_4$							
1,91210	0,44569	0,44631	0,44694	0,44757	0,44819	0,44882	0,44945
6,45917	0,44390	0,44450	0,44522	0,44587	0,44652	0,44717	0,44781
9,40780	0,44327	0,44391	0,44456	0,44521	0,44585	0,44650	0,44715
12,9868	0,44255	0,44318	0,44381	0,44442	0,44508	0,44571	0,44634
20,53555	0,44140	0,44204	0,44268	0,44331	0,44395	0,44459	0,44523
24,7874	0,44082	0,44144	0,44205	0,44266	0,44327	0,44388	0,44449

Галогениды щелочных металлов ( $c=0,16$ ) в метаноле при 298 К (расчетные значения)

Соль $t^+$	LiCl	LiI	NaCl	NaI	KI
	0,36	0,34	0,44	0,37	0,44

KSCN и  $Me_4NSCN$  в метаноле (ДГ)

$m \cdot 10^3$	$t^+$ при $T, K$				
	258	268	278	288	298
<b>KSCN</b>					
3,77343	0,44403	0,44744	0,45050	0,45310	0,45555
6,44079	0,44320	0,44670	0,44976	0,45245	0,45477
9,23309	0,44250	0,44575	0,44900	0,45187	0,45452
12,7239	0,44202	0,44554	0,44858	0,45110	0,45355
16,8456	0,44062	0,44400	0,44722	0,45015	0,45278
<b><math>Me_4NSCN</math></b>					
1,93284	0,53350	0,53152	0,53033	0,52860	0,52755
3,72223			0,53160	0,53028	0,52826
6,52425	0,53500	0,53381	0,53204	0,53036	0,52845
9,66287	0,53658	0,53520	0,53300		0,52999
12,5059	0,53677	0,53529	0,53366	0,53176	0,53010
16,3545	0,53808	0,53587	0,53404	0,53239	0,53059

KSCN в этаноле (ДГ)

$m \cdot 10^3$	$t^+$ при $T, K$			
	268	278	288	298
1,8940	0,4490	0,4522	0,4550	0,4566
3,6215	0,4484	0,4519	0,4547	0,4568
6,3915	0,4478	0,4511	0,4543	0,4562
9,5454	0,4473	0,4510	0,4539	0,4557
12,8034	—	—	—	0,4557

KSCN в *n*-пропанол (ДГ)

$m \cdot 10^3$	$t^+$ при $T, K$		$m \cdot 10^3$	$t^+$ при $T, K$	
	283	298		283	298
2,5554	0,4527	0,4593	6,4153	0,4465	0,4536
3,8317	0,4508	0,4574	8,4684	0,4465	0,4520

KI в пропиленкарбонате (Г)

$m$	$t^+$ при $T, K$			
	298	303	308	318
0,000	0,396	0,398	0,401	0,405
0,050	0,3750	0,3791	0,3802	0,3857
0,075	0,3706	0,3732	0,3758	0,3812
0,100	0,3660	0,3686	0,3711	0,3764
0,125	0,3615	0,3641	0,3668	0,3722
0,150	0,3572	0,3593	0,3624	0,3679

LiCl в смеси *n*-бутанол — *n*-гексан (298 К)

Содержание первого компонента, % (масс.)	$\epsilon$	$c$	$t^+$	$\frac{\lambda_{Li^+}}{\lambda_{Cl^-}}$	$\frac{\lambda_{LiCl}^+}{\lambda_{ClLi}^-}$
70	10,1	0,01 (до точки $min$ ) 0,15 (после точки $min$ )	0,450 $\pm$ 0,011 0,443 $\pm$ 0,015	0,82 $\pm$ 0,04	0,93 $\pm$ 0,02
40	4,77	0,002 (до точки $min$ ) 0,1 (после точки $min$ )	0,453 $\pm$ 0,002 0,461 $\pm$ 0,014	0,83 $\pm$ 0,01	0,95 $\pm$ 0,02

## 2.2. СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ИОНОГЕНОВ

В системах, образованных ионогенами, появление (либо увеличение) электропроводности растворов обусловлено химическим взаимодействием между компонентами, которое принято называть кислотно-основным (или донорно-акцепторным).

Все многообразие процессов кислотно-основного взаимодействия, являющегося наиболее распространенным видом химических взаимодействий, может быть сведено к следующим типам [225, 226]: ион-ионные, ион-молекулярные, межмолекулярные. Эта классификация охватывает все типы кислотно-основного взаимодействия, в том числе реакции сольволиза, ионную и молекулярную сольватацию и т. д.

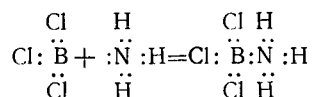
По природе компонентов, вступающих в кислотно-основное взаимодействие, двойные системы можно разделить на следующие основные группы: I—H-кислота — протонное основание;

II—H-кислота — апротонное основание; III — апротонная кислота — протонное основание; IV — апротонная кислота — апротонное основание.

До настоящего времени в химии существует различный подход к описанию процессов, протекающих в каждой из этих групп. Так, системы, относящиеся к типу I, описываются в рамках теории Брэнстеда [227], системы, относящиеся к типам III и IV, — в рамках теории Льюиса [228] либо теории Усановича [217]. В связи с этим следует кратко остановиться на особенностях каждой из перечисленных теорий.

В соответствии с протолитической теорией Брэнстеда, кислотами являются вещества, способные отщеплять протон, а основаниями — вещества, способные его присоединять. Протонная теория объяснила многочисленные реакции, протекающие в неводных средах. Благодаря работам Дж. Брэнстеда и Н. А. Измайлова эта теория наиболее развита с количественной стороны. Однако дальнейшее изучение неводных электролитных растворов привело к необходимости разработки других концепций.

Еще в 1923 г. Г. Льюис предложил несколько определений кислот и оснований, одно из которых (самое общее) обычно связывают с его именем. По Льюису, основание — это вещество, обладающее свободной парой электронов, которая может быть использована для образования устойчивой электронной конфигурации другого атома, а кислота — вещество, имеющее атом с неустойчивой электронной конфигурацией и способное присоединять неподеленную электронную пару другой молекулы. Классическим примером кислотно-основного взаимодействия по Льюису является взаимодействие между  $BCl_3$  и  $NH_3$ :



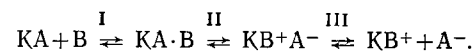
Недостаток данных Льюисом определений вполне очевиден, поскольку кислоты и основания — понятия не статические, а динамические: кислотная и основная функции проявляются лишь в процессе взаимодействия. В связи с этим определения, принятые в электронной теории Льюиса, были в дальнейшем изменены [229, 230]: основанием стали считать донор электронов, кислотой — их акцептор.

Третьей обобщающей теорией кислот и оснований является теория Усановича. Как и Льюис, Усанович считает ошибочным отождествление кислотной функции вещества с его способностью отдавать протон. В то же время Усанович подчеркивает ошибочность и льюисовских представлений о неизменности электронного строения веществ в ходе кислотно-основной ре-

акции. В теории Льюиса, как справедливо отмечает Усанович, игнорируется полярность и поляризуемость частиц. Между тем можно привести примеры, когда в ряду веществ с одинаковой электронной конфигурацией кислотно-основные свойства изменяются в очень широких пределах:  $R_3As$ ,  $R_2AsH$ ,  $RAsH_2$ ,  $AsH_3$ ,  $AsH_2X$ ,  $AsHX_2$ ,  $AsX_3$  (R — органический радикал, X — атом галогена). В приведенном ряду слева направо ослабляются основные и усиливаются кислотные свойства соединений.

Усановичем предложены следующие определения кислот и оснований: кислотами являются вещества, способные отдавать катионы (в том числе и протон) либо присоединять анионы (в том числе и электрон). Основания — это вещества, способные отдавать анион (в том числе и электрон) либо присоединять катион (в том числе и протон). Существенным отличием этих определений явилось включение окислительно-восстановительных реакций в круг кислотно-основных взаимодействий. Именно это положение вызвало наиболее острую критику в адрес теории Усановича [213, 229]. Однако наряду с упреками в слишком большой общности теории выдвигались возражения и противоположного характера [229], поскольку формально, в соответствии с вышеприведенными определениями кислот и оснований, межмолекулярные взаимодействия, заканчивающиеся образованием продукта присоединения, не включены в круг кислотно-основных реакций. В связи с этим в работе [231] были предложены определения, дополняющие определения Усановича и вытекающие из самой сути его теории: кислота — это реагент, являющийся в химической реакции донором любых электроположительных частиц (протон, катион, координационно ненасыщенный атом в молекуле), либо акцептором любых электроотрицательных частиц (электрон, анион, координационно ненасыщенный атом в молекуле). Соответственно, основание — это донор любых электроотрицательных и акцептор любых электроположительных частиц.

Из общей схемы кислотно-основного взаимодействия вытекает, что определения электронной теории учитывают только первую стадию кислотно-основного взаимодействия — стадию образования продукта присоединения:



Определения же Усановича не выделяют какую-либо одну стадию, а рассматривают только начальное и конечное состояния системы.

Поскольку упомянутые теории рассматривают разные стадии кислотно-основного взаимодействия, формально они не могут быть противопоставлены друг другу. В этом плане опре-

деления электронной теории являются такими же общими, как и определения теории Усановича. Однако, как об этом уже упоминалось, кислотно-основное взаимодействие может протекать по трем направлениям: ион-ионное (сольволиз), ион-молекулярное (катионная либо анионная сольватация), межмолекулярное (комплексобразование). Теория Усановича, в отличие от других теорий, охватывает все виды кислотно-основного взаимодействия.

Необходимо подчеркнуть еще одно немаловажное обстоятельство. Определения теории Усановича являются строго симметричными, тогда как определения протолитической (кислота — донор протонов, основание — их акцептор) и электронной (основание — донор электронов, кислота — их акцептор) теорий явно несимметричны. Очевидно, что протон и электрон, являясь элементарными носителями кислотных и основных свойств, должны быть абсолютно равноправны.

В настоящее время является бесспорным, что, говоря о кислотах и основаниях, мы имеем дело не с определенными классами веществ, а с кислотно-основной функцией, присущей в той или иной степени всем веществам. Очевидно также, что дискуссии в литературе [217, 229] относительно того, являются ли апротонные кислоты действительно кислотами или кислотоподобными веществами, относятся ли окислительно-восстановительные реакции к кислотно-основным и т. п., носили чисто терминологический характер, поскольку, исходя из логических предпосылок, невозможно без внесения элементов произвола провести границу между протонными и апротонными кислотами, кислотно-основными и окислительно-восстановительными реакциями.

К тому же следует учесть, что, подчеркивая общность и единую сущность кислотно-основных реакций, заключающуюся во взаимной нейтрализации противоположных свойств частиц, обобщенная теория кислот и оснований не затушевывает те специфические особенности, которые присущи разным группам веществ, участвующих в кислотно-основном взаимодействии: частичный или полный перенос протона происходит в системах с протолитическим равновесием; перенос катионов либо анионов характерен для систем с апротонными кислотами; наконец, частичный или полный перенос электронов наблюдается соответственно в электронно-донорно-акцепторных или окислительно-восстановительных реакциях.

Цикл работ [225, 226, 232—243] по изучению природы кислотно-основного взаимодействия и механизма электролитической диссоциации, выполненных в 70—80-е годы, показал, что конкретная схема взаимодействия определяется константами автоионизации и энергетическими (термодинамическими) характеристиками компонентов системы. Однако природа кислот-

но-основного взаимодействия во всех типах систем, независимо от того, образованы ли они протонными или апротонными компонентами, едина и заключается в нейтрализации присутствующей в растворе наиболее сильной кислоты наиболее сильным основанием.

Из основных положений рассмотренных теорий кислот и оснований вытекает, что протонные (Н-кислоты) и апротонные кислоты (в силу сложившихся традиций будем обозначать последние как L-кислоты) являются составной частью кислот по Усановичу (в работе [244] их предложено называть U-кислотами).

### 2.2.1. Электролитическая диссоциация в системах с ионогенами

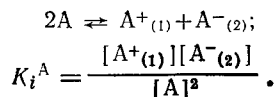
Кислотно-основное взаимодействие в системах, образованных Н-кислотами с основаниями, как показано в работах [226, 241], может протекать по всем перечисленным выше направлениям (см. с. 101).

Связано это с тем, что компоненты, участвующие в кислотно-основном взаимодействии, подвергаются автоионизации (частным случаем которой является автопротолиз), причем константа автоионизации у некоторых индивидуальных веществ довольно высока. Так, константа автопротолиза серной кислоты ( $2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_3\text{SO}_4^+ + \text{HSO}_4^-$ ) при 298 К составляет  $2,7 \cdot 10^{-4}$ . Таким образом, в самой серной кислоте имеется определенное количество ионов  $\text{H}_3\text{SO}_4^+$ , которые являются частицами гораздо более кислыми, чем нейтральные молекулы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Очевидно, что при добавлении к серной кислоте основания (которое также может подвергаться автоионизации с отщеплением аниона) кислотно-основное взаимодействие должно в первую очередь протекать между наиболее кислыми и наиболее основными частицами — катионом кислоты и анионом основания, приводя к сдвигу вправо реакций автоионизации исходных компонентов и к накоплению в растворе анионов кислоты и катионов основания. Важно подчеркнуть, что взаимодействие между катионом кислоты и анионом основания (ион-ионное взаимодействие) в системах с протолитическим равновесием может осуществляться и без непосредственного столкновения этих частиц — путем эстафетного переноса протона по цепочкам связанных водородной связью молекул кислоты. Эта схема практически отсутствует в системах с апротонными основаниями из-за того, что их константа автоионизации крайне мала.

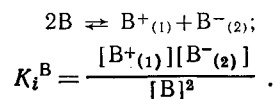
Кислотно-основное взаимодействие в таких системах протекает также между ионами и молекулами исходных компонентов (ион-молекулярное взаимодействие), что, в свою очередь,

ведет к сдвигу равновесия процесса автоионизации, и между нейтральными молекулами компонентов (межмолекулярное взаимодействие, или комплексообразование с последующей ионизацией и электролитической диссоциацией образующихся продуктов присоединения). Ниже представлены схемы всех процессов, которые могут протекать в двойных системах кислоты — основание, и выражения для соответствующих констант равновесия [225].

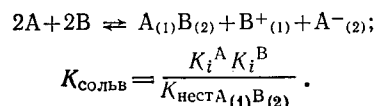
Автоионизация кислоты:



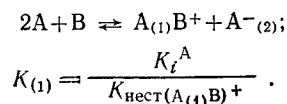
Автоионизация основания:



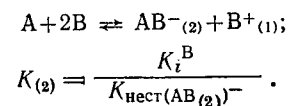
Сольволиз:



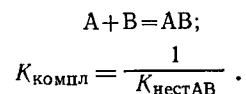
Катионная сольватация:



Анионная сольватация:

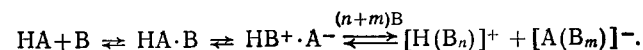


Комплексообразование:



Особенностью систем, образованных Н-кислотами, является то, что состав продукта присоединения (межмолекулярное взаимодействие) и сольволиза (ион-ионное взаимодействие) одинаков. Поэтому, независимо от того, по какому направлению протекает процесс кислотно-основного взаимодействия, суммар-

ное равновесие в таких системах может быть представлено схемой Н. А. Измайлова:



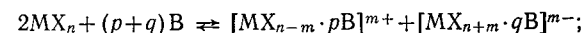
Как показано в работах [67, 225], учет всех возможных направлений кислотно-основного взаимодействия особенно важен для систем с апротонными кислотами, для которых составы продуктов присоединения и сольволиза (продукта замещения) не совпадают.

Все многообразие приводимых в литературе схем электролитической диссоциации для двойных систем, содержащих в качестве одного из компонентов апротонные (или L-) кислоты, можно свести к следующим основным типам [67, 225]\*, которые рассматриваются на примере систем с галогенидами металлов и органическими основаниями:

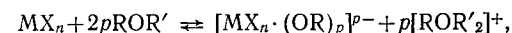
а) схема с ионизацией L-кислоты [56, 217, 233, 238, 242, 243—246]:



либо

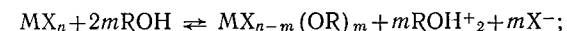


б) схема с ионизацией основания [248, 249]:

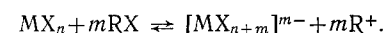


где R — органический радикал либо водород;

в) сольволиз (образование различных продуктов замещения [56, 67, 232, 250, 251]), например:



г) образование карбкатионов [252, 253], например:

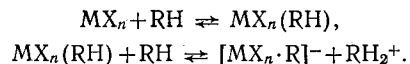


Кроме приведенных схем электролитической диссоциации в системах апротонная кислота — апротонное основание, как это установлено методом спектроскопии ЭПР [254, 255], может реализоваться еще одна схема, приводящая к образованию ион-радикалов типа  $(MX_n)^{\pm\cdot}$  (либо  $MX_n\cdot$ ).

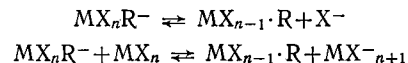
В работах [67, 241] показано, что в системах типа L-кислота — протонное основание образующиеся в результате межмолекулярного взаимодействия продукты присоединения, буду-

\* Исследование механизмов электролитической диссоциации в перечисленных работах осуществлялось с помощью различных спектроскопических методов (ЯМР, КР, ИК-спектроскопия) и методов электролиза, в том числе с применением меченых атомов.

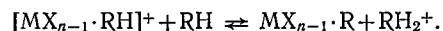
чи комплексными кислотами, могут протонировать молекулы основания:



Промежуточные неустойчивые анионы превращаются затем в более устойчивые формы:



Еще более сильными, чем продукты присоединения, комплексными кислотами являются катионы типа  $[MX_{n-1} \cdot RH]^+$ , которые также могут подвергаться дальнейшим превращениям:



В общем случае, процесс взаимодействия в системах L-кислота — основание, как и в системах с H-кислотами, может протекать по всем трем направлениям (см. с. 101).

### 2.2.2. Перенос тока в неводных растворах

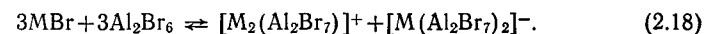
Существуют три основных типа проводимости в растворах: ион-миграционный (стоксовский), ионотропный (эстафетный) и электронный\*. Наиболее распространенными являются первые два [69, 173], причем часто в электролитных системах оба типа проводимости реализуются одновременно. Изучение механизма проводимости имеет важное значение для развития количественной теории концентрированных растворов, поскольку достаточно полный анализ концентрационных и температурных изменений электропроводности может быть сделан лишь в том случае, если известна не только природа и концентрация носителей заряда, но и их подвижность и вклад различных механизмов в общий перенос тока через раствор.

Перенос тока в растворах ионофоров осуществляется за счет обычного ион-миграционного механизма. Следует все же отметить, что недавно [185, 220] опубликованы работы, в которых на основании изучения концентрационного хода изотерм  $\lambda(\lambda\eta)$  и чисел переноса в системах  $[KBr(LiBr) + AlBr_3]$  — толуол (электролит для электроосаждения алюминия) сделан вывод о наличии в растворе эстафетного (цепочечного) механизма проводимости.

Механизм электролитической диссоциации в этих системах при концентрациях комплексной соли от  $7 \cdot 10^{-3}$  до  $1 M$  (т. е. в области восходящей ветви на кривой  $\lambda(\lambda\eta)$  — с описывается

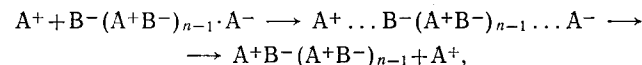
\* Электронный механизм проводимости имеет место в растворах щелочных металлов в аммиаке и некоторых аминах.

уравнением



Равновесие здесь смещено вправо из-за очень плохой растворимости бромидов щелочных металлов в толуоле.

Рассчитанные по величинам молярной проводимости стоксовские радиусы этих ионов намного меньше радиусов, найденных на основании структурных моделей. Это привело авторов указанных работ к выводу о том, что наряду со стоксовским механизмом в этих растворах существует эстафетный механизм переноса заряда по схеме:



где  $A^+$  и  $B^-$  — ионы, образующиеся по уравнению (2.18);  $(A^+B^-)_n$  — нейтральные агрегаты (ионные кластеры).

Однако эта модель требует дополнительных подтверждений, поскольку весьма сомнительно, что при столь низких концентрациях ( $0,01$ — $1 M$ ) в таком неассоциированном растворителе, как толуол, может осуществляться эстафетный механизм проводимости. Быстрый же подъем на кривой  $\lambda(\lambda\eta)$  — с после прохождения точки минимума не может свидетельствовать в пользу эстафетной проводимости, так как наблюдается во всех без исключения растворах ионофоров в низкополярных растворителях (см. разд. 2.1.3.2).

Выполненные в последнее десятилетие работы [67, 221, 225, 245, 256—258] по изучению механизма проводимости в двойных системах, образованных ионогенами, убедительно показывают, что эстафетный механизм реализуется лишь в ультраконцентрированных растворах. При этом, естественно, имеется в виду концентрация того компонента, который и в индивидуальном состоянии проводит ток по эстафетному механизму (например,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SeO_4$ ,  $SbCl_3$  и т. д.).

Подвижности ионов в жидкостях с эстафетной проводимостью значительно превышают подвижности ионов, мигрирующих по обычному, стоксовскому механизму. Об этом, в частности, свидетельствуют имеющиеся в литературе данные по подвижностям ионов лиата (лиония) в перечисленных выше и ряде других растворителей [10, 259, 260]. Величины  $(\lambda_0)_H^+$  в некоторых индивидуальных протонных растворителях приведены в гл. 4. Поэтому сопоставление подвижностей ионов, существующих в растворе, позволяет делать вполне определенные выводы относительно механизма проводимости.

Строгим критерием эстафетной проводимости являются также числа переноса, которые в концентрированных растворах обычно определяют с помощью метода Гитторфа [117].

В литературе [256, 261] в качестве еще одного критерия эстафетной проводимости предложено использовать отношение  $E_{\kappa}/E_{\eta}$  (либо  $\Delta H_{\kappa}^{\neq}/\Delta H_{\eta}^{\neq}$ ). Предполагалось, что в случае ион-миграционного механизма величина  $E_{\kappa}/E_{\eta}$  равна единице; по мере же роста вклада эстафетного механизма это отношение уменьшается. Однако, как показано в разд. 2.1.3.3, в величину  $E_{\kappa}/E_{\eta}^{\neq}$  в качестве составной части входит энтальпия электролитической диссоциации либо автоионизации (в случае индивидуальных жидкостей). Поэтому величина  $E_{\kappa}/E_{\eta}(\Delta H_{\kappa}^{\neq}/\Delta H_{\eta}^{\neq})$ , даже в тех случаях, когда эстафетный механизм заведомо отсутствует (растворы солей с небольшими ионами в низкополярных растворителях), может принимать самые разнообразные значения (отрицательные, равные нулю либо другие значения от нуля до единицы включительно). Разумеется, для раствора с эстафетным механизмом проводимости это отношение будет меньше единицы. Однако с уверенностью судить по этому факту о наличии в растворе эстафетной проводимости можно лишь в том случае, если независимым путем доказано, что концентрация ионов с температурой не меняется.

Для оценки механизмов проводимости, существующих в системах с ионогенами, могут быть использованы также данные по концентрационной зависимости молярной электропроводности [262].

Детальное обсуждение различных критериев эстафетного механизма проводимости проведено недавно в работе [53]. Как свидетельствуют литературные данные, в неводных растворах эстафетный механизм проводимости встречается достаточно часто. Помимо двойных систем, образованных уже упомянутыми ранее Н- и L-кислотами ( $H_2SO_4$  [10, 226, 256],  $H_3PO_4$  [226, 263],  $H_2SeO_4$  [264],  $SbCl_3$  [226, 265]), эстафетный механизм проводимости был обнаружен также в двойных системах, содержащих  $D_2SO_4$  [54, 257],  $POCl_3$ ,  $AsCl_3$  [10],  $Br_2$  [226, 266],  $I_2$  [267]. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка методов количественного определения соотносительного вклада ион-миграционного и эстафетного механизмов проводимости в общую электропроводность растворов. Для этого могут быть применены различные методы исследования. В работах [221, 268] предложена методика анализа данных по электромиграции ионов в системах с ионогенами, позволяющая проводить деление суммарных чисел переноса на ион-миграционную и эстафетную составляющие. Иная методика расчета вклада прототропного механизма в общую проводимость описана в работе [257]. Эта методика основана на сопоставлении изотерм  $\kappa\eta$  систем с Н-кислотами и диаграмм ионных концентраций ( $c_{\text{ион}}$ ), определенных с помощью ИК-спектроскопических исследований [235].

### 2.2.3. Транспортные свойства

Геометрия изотерм транспортных свойств в системах с ионогенами определяется, в первую очередь, глубиной протекающего между компонентами взаимодействия. В системах, образованных сильными Н- (либо L-) кислотами с различными органическими основаниями, на изотермах  $\kappa$  обычно наблюдается минимум, появление которого связано с резким ростом вязкости. Максимум на изотерме  $\eta$  часто приходится на состав образующегося в системе электролитного соединения, вязкость которого обычно весьма высока. Наглядным примером теснейшей связи между геометрией изотерм  $\kappa$  и  $\eta$  могут служить приведенные на рис. 11 данные по концентрационной зависимости транспортных свойств в системе  $H_2SO_4$  — диметилацетамид [269].

В этой системе наблюдается почти сингулярный максимум на изотерме  $\eta$ , который приходится точно на эквимолекулярное соотношение компонентов. Следовало бы ожидать, что максимум величины  $\kappa\eta$ , в соответствии с правилом М. И. Усановича [270], будет также соответствовать составу электролитного продукта присоединения, т. е. составу образующегося в системе ионофора. Однако максимум  $\kappa\eta$  здесь сдвинут в область 60% (мольн.) кислоты. Иррациональность изотермы  $\kappa\eta$  объясняется наличием в системе эстафетного механизма проводимости, вклад которого в перенос тока возрастает при увеличении содержания кислоты:

$$\kappa\eta = (\kappa^{\text{ион}}\eta) + (\kappa^{\text{эст}}\eta).$$

Очевидно, что точно на состав образующегося электролитного продукта могут указывать только величины  $\kappa^{\text{ион}}\eta$ . Это на ряде примеров показано в работе [271], в которой предложены методы, позволяющие нивелировать влияние эстафетного механизма на электропроводность растворов и определять состав электролитного продукта в системах со смешанным механизмом проводимости.

В системах с более слабым кислотно-основным взаимодействием влияние эстафетного механизма переноса тока на геометрию изотерм электропроводности и исправленной на вязкость электропроводности может проявляться еще резче. Это иллюстрирует рис. 12, на котором приведены изотермы  $\kappa$  и  $\kappa\eta$  в системе  $H_3PO_4$  — N-метилацетамид [272]. Несмотря на то, что в системе образуются электролитные соединения (об этом четко свидетельствует ряд расчетных свойств, в том числе термодинамические параметры активации транспортных процессов), изотермы  $\kappa$  и  $\kappa\eta$  максимумов не имеют. На изотерме  $\kappa\eta$  имеется перегиб, который сглаживается при повышении температуры. Такой ход изотерм  $\kappa$  и  $\kappa\eta$  обусловлен тем, что



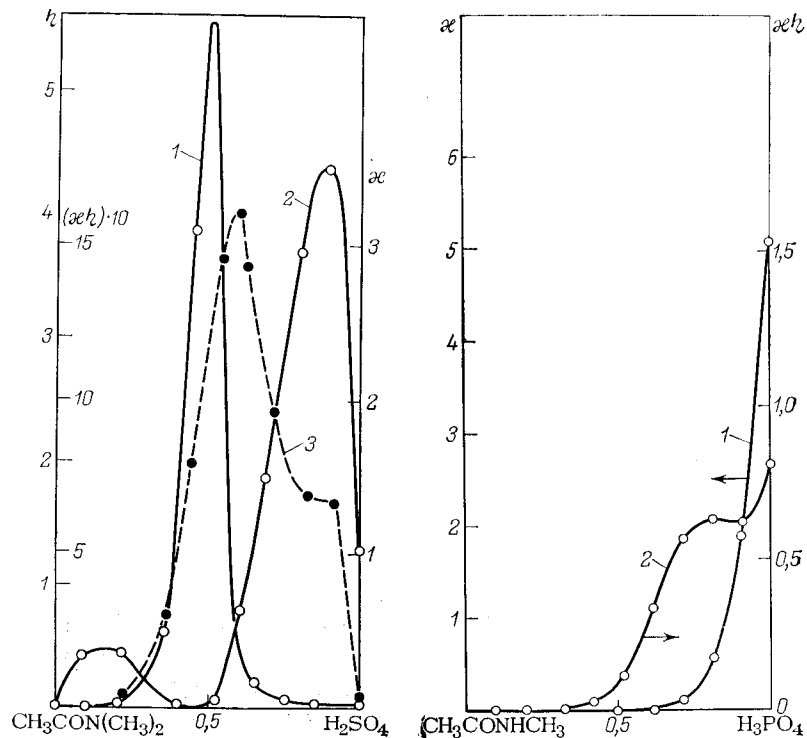


Рис. 11. Транспортные свойства растворов в двойной системе  $H_2SO_4-N,N$ -DMA при 298 К.

Концентрация компонентов выражена в мольн. долях; 1 — вязкость ( $\eta$ ); 2 — удельная электропроводность ( $\kappa$ ); 3 — электропроводность, исправленная на вязкость ( $\kappa\eta$ )

Рис. 12. Транспортные свойства растворов в двойной системе фосфорная кислота — N-MAA при 298 К.

Концентрация компонентов выражена в мольн. долях; 1 — удельная электропроводность ( $\kappa$ ); 2 — электропроводность, исправленная на вязкость ( $\kappa\eta$ )

в самой фосфорной кислоте перенос тока осуществляется полностью по эстафетному механизму [263, 268]. Вследствие высокой подвижности автопротолитических ионов значения  $\kappa$  и  $\kappa\eta$  самой  $H_3PO_4$  также высоки. Поэтому увеличение концентрации ионов за счет образования электролитного продукта (выход которого в этой системе значительно меньше, чем в системах с глубоким кислотно-основным взаимодействием) не приводит к росту электропроводности из-за уменьшения подвижности ионов (последнее связано с ухудшением условий для эстафетной проводимости; эти условия наиболее благоприятны в индивидуальной кислоте).

Изучению транспортных свойств (электропроводность, вязкость), механизмов переноса тока, термодинамических параметров активации транспортных процессов в двойных системах, образованных Н- и L-кислотами с различными (главным образом, органическими) основаниями, посвящен целый ряд работ [236—241, 256—258, 263—272]. Имеющиеся в них данные совершенно однозначно указывают на единство природы кислотно-основного взаимодействия в этих системах. Чрезвычайно сходными в целом ряде случаев являются и механизмы переноса тока, например в двойных системах, образованных некоторыми протонными ( $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ) и апротонными ( $SbCl_3$ ,  $Br_2$ ) кислотами с амидами уксусной кислоты [67]. В областях с большим содержанием кислотного компонента доминирует эстафетный механизм проводимости (прототропный — в случае Н-кислот и галогенотропный — в случае L-кислот).

\* \* \*

Ниже приводятся данные по свойствам растворов ионофоров и ионогенов в различных растворителях. Предпочтение отдается концентрированным растворам, поскольку разбавленные растворы представляют, как правило, чисто теоретический интерес. Данные по разбавленным растворам приводятся лишь в том случае, если система изучена в полном концентрационном интервале.

Все растворы систематизированы по растворителям и приводятся в той последовательности, которая соответствует положению растворителя в табл. 1.2.

#### СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ИОНОФОРОВ И ИОНОГЕНОВ В РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

##### Диоксид серы

$AlCl_3$  [273]

$$\rho \cdot 10^{-3} = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 \quad (-10 < t < 100^\circ C)$$

c	A	-B · 10 <sup>3</sup>	C · 10 <sup>7</sup>	-D · 10 <sup>9</sup>	КК*
1,5	1,7156	1,7958	6,5467	—	0,999
	1,7155	1,8137	17,445	12,241	0,999
3,0	1,7227	1,6731	0,30801	—	0,999
	1,7227	1,6795	2,5489	1,6819	0,999
4,5	1,7727	1,6304	2,1942	—	0,999
	1,7727	1,6603	12,573	7,7899	0,999

$$x \cdot 10^{-2} = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 \quad (-10 < t < 70 \text{ } ^\circ\text{C})$$

c	A	B·10 <sup>5</sup>	C·10 <sup>4</sup>	D·10 <sup>6</sup>	КК*
1,5	1,2441	9,1875	—	—	0,998
	1,2431	9,4266	—0,039849	—	0,999
3,0	2,8434	22,71	1,3626	—	0,998
	2,8182	18,1	4,0668	—3,0045	0,999
4,5	3,0154	32,8	5,9905	—	0,999
	3,0134	32,4	6,2059	—2,3939	0,999

\* Коэффициент корреляции.

### Тионилхлорид

LiAlCl<sub>4</sub> (298 K) [273]

c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	c	λ·10
0,00249	1,6438	0,63684	0,000313	13,51
0,00997	1,6443	0,64506	0,00052	13,40
0,03046	1,6451	0,6522	0,00104	11,94
0,04985	1,64599	0,65583	0,00313	8,089
0,0997	1,64820	0,70841	0,005216	7,025
0,200	1,6525	0,7357	0,007824	6,264
0,35	1,65903	0,76133	0,01043	5,228
0,50	1,66555	0,78731	0,04	6,229
0,65	1,67206	0,88218	0,09	7,134
0,75	1,6764	0,95589	0,1448	8,758
0,90	1,68293	1,11729	0,25	10,662
1,00	1,68727	1,25061	0,4999	13,717
1,50	1,7090	1,7746	0,7498	14,489
			0,9998	14,114
			1,25	13,69
			1,50	12,659
			1,75	11,487
			2,00	10,255

### Формамид

LiCl (298 K) [274]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,1300 + 1,730 \cdot 10^{-2} c \quad (\text{при } c = 0,5 - 6,1)$$

c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10	c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10
0,4557	1,1375	4,19	15,975	3,9880	1,1992	34,38	1,884
1,0611	1,1484	5,64	11,856	4,5504	1,2089	51,47	1,277
2,1805	1,1680	10,45	5,967	6,1101	1,2353	166,7	0,339
2,9830	1,1819	17,41	3,634				

LiCl\* [275]

m	γ <sub>±</sub>	m	γ <sub>±</sub>	m	γ <sub>±</sub>	m	γ <sub>±</sub>
0,02	0,942	0,2	0,940	0,5	1,009		
0,05	0,930	0,3	0,959	0,6	1,039	0,8	1,107
0,1	0,929	0,4	0,982	0,7	1,072		

\* При температуре замерзания.

Соли натрия (298 K) [276]

Соль	ρ·10 <sup>-3</sup>	Конц. интервал, c*	σ·10 <sup>4</sup>
NaBr	1,1301 + 6,866·10 <sup>-2</sup> c	0,3—3,7	4
NaI	1,1303 + 0,1021 c	0,5—4,4	7
NaNO <sub>3</sub>	1,1307 + 4,326·10 <sup>-2</sup> c	0,4—4,2	8
NaClO <sub>4</sub>	1,1289 + 6,455·10 <sup>-2</sup> c	0,3—4,0	3
NaSCN	1,1291 + 2,867·10 <sup>-2</sup> c	0,1—5,6	6

\* Верхний концентрационный предел ограничен растворимостью.

NaI [124]

c	ρ·10 <sup>-3</sup>	c	ρ·10 <sup>-3</sup>	c	ρ·10 <sup>-3</sup>	c	ρ·10 <sup>-3</sup>
308 K		318 K		333 K		353 K	
0,2912	1,1413	0,2892	1,1431	0,2857	1,1293	0,2816	1,1134
0,5955	1,1832	0,5914	1,1750	0,5844	1,1609	0,5757	1,1438
0,9247	1,2171	0,9186	1,2091	0,9075	1,1946	0,8945	1,1773
1,3086	1,2573	1,2997	1,2487	1,2848	1,2344	1,2668	1,2171
1,6887	1,2964	1,6783	1,2883	1,6587	1,2733	1,6357	1,2557
2,3425	1,3633	2,3282	1,3550	2,3025	1,3400	2,2717	1,3221
3,5251	1,4857	3,5028	1,4763	3,4668	1,4611	3,4230	1,4427
4,3806	1,5725	4,3631	1,5663	4,3097	1,5471	4,2719	1,5335
5,3437	1,6719	5,3237	1,6657	5,2614	1,6462	5,2133	1,6311

X·100	η·10 <sup>3</sup>	λ·10	η·10 <sup>3</sup>	λ·10	η·10 <sup>3</sup>	λ·10	η·10 <sup>3</sup>	λ·10
	308 К		318 К		333 К		353 К	
1,1702	2,9806	25,081	2,3944	31,162	1,7940	40,869	1,3070	55,636
2,3933	3,3480	21,349	2,6670	26,691	2,0020	35,329	1,4400	48,542
3,7184	3,9391	18,227	3,0697	23,005	2,2646	30,793	1,6062	42,777
5,2627	4,6730	15,149	3,6270	19,347	2,6373	26,261	1,8421	36,984
6,7956	5,6768	12,589	4,3371	16,288	3,1060	22,458	2,0999	32,093
9,4406	8,1809	8,942	6,0632	11,876	4,0992	16,927	2,7040	24,989
14,2269	18,113	4,558	12,505	6,456	7,7304	9,895	4,6281	15,734
17,7244	37,421	2,304	23,700	3,503	13,472	5,884	7,3801	10,212
21,6490	100,90	0,957	56,144	1,639	27,227	3,147	12,930	6,225

\* Плотность отнесена к плотности воды при 277 К.

### NaI (298 К) [99]

	κ	ε <sub>s</sub>	ε <sub>∞</sub>	τ·10 <sup>12</sup>
0	0,322	103,5	8	36
0,20	0,653	98,5	—	37
0,40	0,945	95	—	36
0,70	1,21	88	—	33

### NaNO<sub>3</sub>, NaSCN [277]

c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>
308 К		318 К		333 К		353 К	
NaNO <sub>3</sub>							
0,1668	2,7911	0,1655	2,2551	0,1636	0,1798	0,1611	1,2700
0,4319	3,1082	0,4287	2,4951	0,4239	1,8905	0,4174	1,3850
1,0656	4,0122	1,0574	3,1894	1,0457	2,3370	1,0308	1,6810
1,5401	4,8324	1,5282	3,7350	1,5107	2,7640	1,4896	1,9354
2,0312	5,8963	2,0171	4,5582	1,9969	3,2330	1,9690	2,2407
2,9981	8,8383	2,9768	6,6085	2,9443	4,4974	2,9065	2,9823
3,7075	11,970	3,6818	8,7410	3,6428	5,7880	3,5983	3,7247
NaSCN							
0,1713	2,7696	0,1699	2,2435	0,1681	1,7052	0,1654	1,2620
0,4434	3,0869	0,4398	2,4800	0,4353	1,8732	0,4283	1,3710
0,8926	0,6430	0,8857	2,8961	0,8765	2,1644	0,8628	1,5659
1,8259	5,4050	1,8121	4,1734	1,7922	2,9743	1,7679	2,0697
2,5494	7,5451	2,5302	5,6788	2,5059	3,9129	2,4733	2,6267
3,7056	13,830	3,6758	9,7970	3,6402	6,3838	3,5959	3,9951
4,7166	26,030	4,6813	17,460	4,6371	10,310	4,5838	5,9730
5,7676	54,770	5,7258	34,060	5,6712	18,302	5,6103	9,7352

### Соли Mg, Ca, Zn (298 К) [274]

Соль	ρ·10 <sup>-3</sup>	Конц. интервал, с	δ·10 <sup>4</sup>
Mg(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,1298+0,10606 c	0,7—3,6	3
CaCl <sub>2</sub>	1,1319+0,06498 c	0,4—2,0	3
CaBr <sub>2</sub>	1,1318+0,14150 c	0,4—2,3	3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,1345+0,08960 c	0,5—3,6	5
ZnCl <sub>2</sub>	1,1306+0,08826 c	0,5—4,6	3
ZnBr <sub>2</sub>	1,1311+0,16452 c	0,3—3,5	2
ZnI <sub>2</sub>	1,1294+0,00876 c <sup>1/2</sup> + +0,2316 c	0,3—3,4	3

c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10	c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10
Mg(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>				CaCl <sub>2</sub>			
0,6957	1,2037	5,62	19,362	0,3926	1,1575	5,02	26,184
0,9485	1,2303	6,95	15,772	0,5669	1,1683	6,12	21,258
1,3171	1,2696	9,75	11,456	0,7299	1,1794	7,40	17,496
1,8181	1,3228	16,71	6,980	0,9215	1,1920	9,39	13,848
2,3765	1,3817	34,25	3,572	1,1671	1,2081	12,80	10,146
2,8987	1,4364	77,89	1,610	1,4407	1,2255	18,37	7,026
3,5344	1,5053	331,2	0,406	1,7287	1,2435	29,67	4,656
				1,9672	1,2601	39,02	3,232
CaBr <sub>2</sub>				Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>			
0,4038	1,1890	5,03	27,934	1,2037	1,1774	5,09	21,524
0,6209	1,2193	6,45	22,178	0,7180	1,1985	6,32	16,058
0,8553	1,2534	8,51	17,164	0,9535	1,2196	7,86	12,124
1,1740	1,2979	12,85	11,806	1,2742	1,2489	10,83	8,256
1,6573	1,3665	25,73	6,154	1,6967	1,2873	17,32	4,930
1,9515	1,4080	42,52	3,882	2,1859	1,3309	31,24	2,582
2,2844	1,4550	78,25	2,148	2,6649	1,3727	62,42	1,268
				3,6165	1,4582	420,7	0,148
ZnCl <sub>2</sub>				ZnBr <sub>2</sub>			
0,5602	1,1800	4,52	7,952	0,3566	1,1895	4,33	11,260
0,8814	1,2080	5,45	6,294	0,5180	1,2163	4,77	9,962
1,2429	1,2401	6,88	4,956	0,7588	1,2561	5,52	8,382
1,6313	1,2750	8,89	3,810	1,5451	1,3856	9,31	4,126
2,0608	1,3130	12,15	2,796	1,9523	1,4524	12,66	2,910
2,6252	1,3621	19,24	1,768	2,2350	1,4992	15,93	2,256
3,0668	1,4017	28,83	1,170	2,7979	1,5916	26,72	1,294
3,3634	1,4278	38,63	0,850	3,4461	1,6977	53,81	0,584
4,5773	1,5342	165,3	0,128				

Продолжение

c	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	c	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
ZnI <sub>2</sub>							
0,3371	1,2106	4,58	15,468	1,5774	1,5022	11,60	4,386
0,5628	1,2648	5,53	12,576	2,1420	1,6343	18,37	2,330
0,8269	1,3271	6,72	9,778	2,7962	1,7871	34,67	1,044
1,1354	1,3990	8,33	7,312	3,3866	1,9254	68,94	0,426

NH<sub>4</sub>I [124]

c	$\rho \cdot 10^{-3}$	c	$\rho \cdot 10^{-3}$	c	$\rho \cdot 10^{-3}$	c	$\rho \cdot 10^{-3}$
298 K		308 K		318 K		328 K	
0,3660	1,1587	0,3633	1,1500	0,3606	1,1416	0,3579	1,1329
0,4608	1,1665	0,4574	1,1579	0,4540	1,1494	0,4506	1,1407
0,7048	1,1862	0,6997	1,1776	0,6947	1,1691	0,6895	1,1604
1,1258	1,2209	1,1177	1,2122	1,1099	1,2037	1,1017	1,1949
1,7340	1,2705	1,7221	1,2618	1,7103	1,2532	1,6981	1,2442
2,1101	1,3012	2,0958	1,2924	2,0817	1,2837	2,0671	1,2747
2,7683	1,3548	2,7502	1,3459	2,7324	1,3372	2,7138	1,3281
3,6434	1,4262	3,6204	1,4172	3,5979	1,4083	3,5743	1,3991
3,9733	1,4531	3,9479	1,4438	3,9239	1,4350	3,8987	1,4258
4,6385	1,5067	4,6132	1,4984	4,5848	1,4892	4,5586	1,4807
5,1200	1,5464	5,0895	1,5371	5,0608	1,5285	5,0321	1,5198
5,4626	1,5745	5,4300	1,5651	5,3994	1,5563	5,3692	1,5477
$\rho \cdot 10^{-3} = 1,1290 + 0,0815 c$		$= 1,1205 + 0,0819 c$		$= 1,1122 + 0,0823 c$		$= 1,1035 + 0,0827 c$	

X · 100	$\eta \cdot 10^3$		$\lambda \cdot 10$		$\eta \cdot 10^3$		$\lambda \cdot 10$	
	298 K		308 K		318 K		328 K	
1,4692	3,537	24,33	2,781	30,45	2,253	37,02	1,870	43,95
1,8524	3,607	23,58	2,853	29,52	2,294	35,86	1,904	42,60
2,8453	3,780	21,88	2,966	27,43	2,398	33,37	1,987	39,67
4,5744	4,131	19,41	3,229	24,38	2,602	29,68	2,152	35,28
7,1176	4,724	16,41	3,668	20,68	2,941	25,31	2,421	30,15
8,7164	5,155	14,79	3,985	18,70	3,184	22,95	2,612	27,41
11,5640	6,062	12,28	4,638	15,66	3,677	19,32	2,997	23,20
15,4498	7,720	9,50	5,815	12,28	4,545	15,35	3,664	18,61
16,9449	8,493	8,62	6,350	11,22	4,938	14,07	3,961	17,15
20,0269	10,497	7,01	7,727	9,25	5,927	11,74	4,703	14,44
22,2853	12,366	6,00	8,975	8,02	6,808	10,27	5,351	12,74
23,9160	13,969	5,36	10,029	7,24	7,542	9,34	5,889	11,67

NH<sub>4</sub>Ac (298 K) [99]

c	$\kappa$	$\epsilon_s$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$
0	0,310	104,5	8	36
0,15	0,587	102	—	34
0,30	0,823	99,5	—	38

Pr<sub>4</sub>Ni [278]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$
298	$1,13081 + 0,23546c + 0,31432 \cdot 10^{-2}c^2$
308	$1,12253 + 0,024100c + 0,32947 \cdot 10^{-2}c^2$
318	$1,11333 + 0,026318c + 0,21154 \cdot 10^{-2}c^2$
333	$1,10100 + 0,024854c + 0,42011 \cdot 10^{-2}c^2$
353	$1,08316 + 0,026756c + 0,44327 \cdot 10^{-2}c^2$

c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$
298 K		308 K		318 K		333 K		353 K	
0,1481	3,53	0,1470	2,77	0,1459	2,25	0,1442	1,71	0,1420	1,27
0,2553	3,72	0,2538	2,94	0,2515	2,36	0,2487	1,80	0,2447	1,31
0,3523	3,93	0,3497	3,08	0,3471	2,45	0,3432	1,85	0,3378	1,35
0,4607	4,15	0,4573	3,32	0,4539	2,55	0,4488	2,02	0,4420	1,38
0,5379	4,36	0,5341	3,35	0,5303	2,67	0,5241	2,04	0,5179	1,43
0,6477	4,64	0,6430	3,57	0,6384	2,79	0,6315	2,08	0,6217	1,51
0,7511	5,00	0,7462	3,78	0,7403	2,98	0,7322	2,17	0,7212	1,61
0,8481	5,34	0,8422	4,03	0,8363	3,22	0,8273	2,31	0,8147	1,64
0,9424	5,85	0,9362	4,35	0,9292	3,37	0,9191	2,40	0,9058	1,70
1,0359	6,36	1,0289	4,74	1,0214	3,49	1,0107	2,50	0,9965	1,75

Bu<sub>4</sub>NCl [278]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$
298	$1,12922 + 0,066007 c + 0,0030624 c^2$
308	$1,12138 + 0,064942 c + 0,0028363 c^2$
318	$1,11350 + 0,066930 c + 0,0026266 c^2$
333	$1,09968 + 0,062753 c + 0,0024512 c^2$
353	$1,08173 + 0,061069 c + 0,0024039 c^2$

c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$
298 K		308 K		318 K		333 K		353 K	
0,1290	3,63	0,1282	2,81	0,1272	2,27	0,1257	1,72	0,1237	1,24
0,3161	4,13	0,3140	3,17	0,3119	2,52	0,3081	1,88	0,3033	1,34
0,6310	5,32	0,6269	4,00	0,6227	3,11	0,6153	2,28	0,6059	1,57
0,9373	7,06	0,9318	5,34	0,9259	4,05	0,9150	2,89	0,9012	1,89
1,2142	9,76	1,2065	7,42	1,1990	5,43	1,1852	3,67	1,1678	2,32
1,3993	12,61	1,3909	9,64	1,3823	6,83	1,3665	4,49	1,3468	2,74
1,7078	21,32	1,6981	16,18	1,6876	10,82	1,6688	6,60	1,6455	3,77
2,0811	51,97	2,0686	35,46	2,0563	21,75	2,0338	11,95	2,0062	6,09
2,2652	87,14	2,2518	55,34	2,2382	32,31	2,2143	16,62	2,1857	7,98

Bu<sub>4</sub>NBr [278]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$
298	1,12908+0,029613 c+0,0031598 c <sup>2</sup> 1,12129+0,029259 c+0,0034074 c <sup>2</sup> 1,11360+0,028979 c+0,0036308 c <sup>2</sup> 1,09989+0,027881 c+0,0034955 c <sup>2</sup> 1,08199+0,026367 c+0,0035853 c <sup>2</sup>
308	
318	
333	
353	

c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$
298 K		308 K		318 K		333 K		353 K	
0,1524	3,72	0,1514	2,88	0,1504	2,31	0,1486	1,75	0,1462	1,26
0,4539	4,67	0,4517	3,58	0,4486	2,83	0,4432	2,09	0,4363	1,46
0,7601	6,19	0,7573	4,80	0,7523	3,68	0,7435	2,63	0,7320	1,76
1,0544	9,22	1,0517	6,89	1,0449	5,08	1,0329	3,47	1,0176	2,21
1,3538	15,41	1,3522	11,02	1,3439	7,71	1,3288	8,58	1,3098	2,98
1,7142	35,52	1,7030	22,89	1,6929	14,77	1,6740	8,58	1,6506	4,62
2,0404	95,63	2,0270	55,52	2,0156	32,32	1,9938	16,54	1,9673	7,88

Bu<sub>4</sub>NI [278]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$
298	1,13044+0,058569 c+0,0018197 c <sup>2</sup> 1,12240+0,054135 c+0,0025502 c <sup>2</sup> 1,11387+0,069351 c+0,0017532 c <sup>2</sup> 1,10161+0,069545 c+0,0019144 c <sup>2</sup> 1,08344+0,096481 c+0,0012390 c <sup>2</sup>
308	
318	
333	
353	

120

c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$
298 K		308 K		318 K		333 K		353 K	
0,0341	3,42	0,0339	2,66	0,0336	2,19	0,0332	1,66	0,0327	1,23
0,0741	3,49	0,0736	2,74	0,0730	2,21	0,0722	1,69	0,0710	1,25
0,1248	3,60	0,1239	2,83	0,1230	2,28	0,1218	1,73	0,1197	1,29
0,2602	3,92	0,2583	3,10	0,2564	2,45	0,2534	1,88	0,2495	1,38
0,5096	4,83	0,5056	3,70	0,5023	2,94	0,4972	2,19	0,4895	1,58
0,7171	5,92	0,7125	4,45	0,7070	3,48	0,6991	2,54	0,6885	1,80
0,8040	6,36	0,7985	4,89	0,7925	3,75	0,7834	2,78	0,7721	1,89
0,9473	7,91	0,9406	5,81	0,9352	4,43	0,9244	3,11	0,9107	2,13
1,1027	9,98	1,0957	7,16	1,0872	5,36	1,0760	3,71	1,0599	2,48
1,1524	10,74	1,1446	7,68	1,1361	5,66	1,1243	3,88	1,1075	2,58

N-Метилформамид

LiCl (298 K) [279]

$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	24,0	48,0	72,0	1827,7
		17,0	17,2	17,3	18,5

LiBr [279]

LiI [279]

$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
298 K		323 K		298 K		323 K	
15,0	20,2	10,6	22,0	10,78	32,6	9,82	32,8
30,0	20,4	21,2	22,0	21,56	32,8	19,62	32,8
45,0	20,5	31,8	22,0	32,34	32,9	29,4	32,8
1126,3	23,7	1370,0	22,7	813,9	34,3	49,1	32,9
						1276,9	33,8

NaI (298 K) [279]

$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	10,5	21,0	31,5	793,3
		37,5	37,5	37,5	37,5

NaI (298 K) [99]

c	$\alpha$	$\epsilon_S$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$
0	0,038	181	10	123
0,20	0,716	149	13	121
0,40	1,191	125	12	110
0,70	1,667	100	13	111

121



m	Свойства растворов при T, K							
	223	248	273	298	323	348	373	398
$\rho \cdot 10^{-3}$								
0,1041	1,0231	0,9986	0,9753	0,9519	0,9279	0,9037	0,8791	0,8537
0,229	1,0303	1,0061	0,9827	0,9596	0,9356	0,9115	0,8871	0,8616
0,351	1,0376	1,0133	0,9898	0,9669	0,9430	0,9196	0,8941	0,8694
0,488	1,0456	1,0215	0,9984	0,9751	0,9514	0,9273	0,9032	0,8780
0,628	1,0534	1,0295	1,0061	0,9826	0,9590	0,9353	0,9118	0,8865
0,778	1,0619	1,0376	1,0144	0,9914	0,9676	0,9440	0,9203	0,8952
$\eta \cdot 10^3$								
0,1041	4,24	2,07	1,257	0,875	0,653	0,509	0,411	0,338
0,229	4,82	2,25	1,361	0,937	0,698	0,541	0,434	0,356
0,351	5,50	2,47	1,472	1,002	0,737	0,571	0,458	0,374
0,488	6,33	2,77	1,615	1,079	0,789	0,606	0,484	0,395
0,628	7,31	3,06	1,751	1,160	0,842	0,643	0,512	0,416
0,778	8,71	3,45	1,927	1,268	0,910	0,688	0,547	крист.
$\lambda \cdot 10$								
0,1041	7,97	14,93	22,1	29,3	36,2	42,6	48,3	53,0
0,229	5,68	10,83	16,12	21,4	26,4	31,0	35,2	39,0
0,351	4,50	8,81	13,29	17,75	22,0	25,8	29,4	32,6
0,488	3,65	7,31	11,22	15,21	18,93	22,4	25,5	28,5
0,628	3,05	6,32	9,89	13,47	16,87	20,0	22,9	25,8
0,778	2,52	5,49	8,74	12,05	15,27	18,2	20,9	23,5

## Четвертичные аммониевые соли (295 K) [281]

c	% растворов солей			
	Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,09009	0,08403	0,08403	0,07353(0,06897)
0,05	0,300	0,288	0,284	0,248(0,262)
0,10	—	0,435	0,410	0,400
0,50	—	0,990	0,840	0,943(1,22)
1,00	—	1,285	—	0,935

Bu<sub>4</sub>NI [280]

m	Свойства растворов при T, K							
	223	248	273	298	323	348	373	398
$\rho \cdot 10^{-3}$								
0,0729	1,0204	0,9964	0,9727	0,9495	0,9254	0,9014	0,8771	0,8515
0,1522	1,0258	1,0019	0,9784	0,9553	0,9313	0,9076	0,8834	0,8579
0,240	1,0313	1,0072	0,9839	0,9611	0,9374	0,9137	0,8904	0,8647
0,306	1,0352	1,0115	0,9883	0,9652	0,9414	0,9170	0,8942	0,8694
0,376	1,0388	1,0147	0,9920	0,9695	0,9459	0,9225	0,8989	0,8741
0,491	1,0458	1,0219	0,9990	0,9764	0,9530	0,9298	0,9066	0,8821
0,563	1,0490	1,0255	1,0025	0,9800	0,9567	0,9331	0,9106	0,8863
0,692	1,0551	1,0316	1,0092	0,9865	0,9631	0,9404	0,9177	0,8936
0,798	1,0601	1,0363	1,0138	0,9919	0,9686	0,9459	0,9236	0,8995

m	Свойства растворов при T, K							
	223	248	273	298	323	348	373	398
0,908	1,0651	1,0413	1,0186	0,9966	0,9739	0,9512	0,9288	0,9050
1,015	1,0690	1,0452	1,0230	1,0013	0,9788	0,9558	0,9340	0,9104
1,157	Крист.	Крист.	1,0290	1,0071	0,9844	0,9617	0,9406	0,9168
$\eta \cdot 10^3$								
0,0729	4,06	1,984	1,230	0,860	0,643	0,504	0,409	0,336
0,1522	4,66	2,19	1,333	0,910	0,677	0,528	0,425	0,349
0,240	5,46	2,44	1,441	0,988	0,726	0,562	0,452	0,370
0,306	6,13	2,68	1,562	1,042	0,762	0,587	0,469	0,384
0,376	6,95	2,91	1,663	1,107	0,799	0,613	0,489	0,400
0,491	8,67	3,38	1,868	1,216	0,869	0,659	0,523	0,424
0,563	9,82	3,67	1,988	1,281	0,909	0,685	0,542	0,439
0,692	12,48	4,32	2,25	1,412	0,984	0,739	0,582	0,471
0,798	15,48	4,95	2,50	1,535	1,057	0,786	0,615	0,496
0,908	19,23	5,71	2,77	1,670	1,137	0,838	0,650	0,521
1,015	23,63	6,57	3,08	1,815	1,222	0,890	0,687	0,548
1,157	Крист.	Крист.	3,51	2,02	1,332	0,959	0,736	0,584
$\lambda \cdot 10$								
0,0729	9,80	20,4	33,0	47,1	61,8	77,0	92,4	108,8
0,1522	7,62	16,41	27,0	38,8	51,3	64,0	77,0	90,7
0,240	6,01	13,57	22,8	33,2	44,2	55,6	67,0	78,2
0,306	5,20	11,98	20,5	30,1	40,3	51,0	61,7	72,7
0,376	4,45	10,59	18,37	27,3	37,0	46,9	57,0	67,5
0,491	3,47	8,82	15,75	23,9	32,8	42,1	51,7	61,5
0,563	2,99	7,85	14,31	21,9	30,3	39,1	48,0	57,3
0,692	2,32	6,47	12,21	19,16	26,9	35,0	43,3	52,0
0,798	1,856	5,56	10,84	17,23	24,5	32,1	40,0	48,4
0,908	1,497	4,76	9,55	15,56	22,3	29,6	37,3	45,3
1,015	1,227	4,14	8,55	14,19	20,6	27,6	34,9	42,6
1,157	Крист.	Крист.	7,40	12,54	18,57	25,2	32,0	39,5

Ph<sub>4</sub>PBr [66]

c <sub>298</sub>	X · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^3$ при T, K			λ при T, K		
		273	298	323	273	298	323	273	298	323
0,1259	1,00	0,9871	0,9636	0,9401	1,463	0,9926	0,7265	0,368	0,531	0,704
0,2464	2,01	1,0036	0,9805	0,9569	1,750	1,149	0,8343	0,572	0,846	1,14
0,3563	2,99	1,0181	0,9952	0,9724	2,113	1,355	0,9618	0,679	1,03	1,41
0,4658	4,01	1,0331	1,0103	0,9879	2,593	1,585	1,107	0,725	1,14	1,59
0,5691	5,03	1,0464	1,0243	1,0015	3,328	1,877	1,252	0,732	1,19	1,70

SbCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> [245]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 <sup>2</sup> при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
<b>SbCl<sub>3</sub></b>									
0,00	0,9453	0,9212	0,8963	0,804	0,618	0,468	—	—	—
4,98	1,054	1,028	1,002	1,897	1,588	1,260	2,23	2,96	3,58
9,99	1,164	1,136	1,109	2,122	1,717	1,371	3,18	5,40	8,53
20,14	1,388	1,357	1,327	8,532	3,935	2,279	1,94	4,42	7,27
29,83	1,599	1,566	1,527	50,62	13,32	5,577	0,72	2,35	4,82
39,70	1,809	1,773	1,737	375,5	48,96	14,23	0,39	1,70	4,51
50,02	2,013	1,975	1,936	1858	131,3	27,88	0,24	1,76	5,65
60,23	2,208	2,168	2,128	2329	147,3	30,45	0,23	2,36	9,43
69,23	2,359	2,316	2,270	1045	91,74	22,93	0,88	5,00	11,5
79,89	2,537	2,488	2,439	187,4	31,63	11,23	2,70	8,84	16,6
89,83	2,688	2,633	2,577	34,66	10,56	5,101	4,74	10,7	16,3
100,0	2,794	2,736	2,681	8,92	3,94	2,31	—	—	—

FeCl<sub>3</sub>

4,84	1,015	0,991	0,966	1,278	0,903	0,714	0,94	1,32	1,66
9,86	1,082	1,037	1,031	2,039	1,345	0,969	1,19	1,65	2,20
15,14	1,156	1,130	1,105	4,896	2,584	1,763	1,10	1,72	2,29
21,20	1,240	1,214	1,188	14,54	6,558	3,718	0,56	1,27	1,75
24,60	1,287	1,260	1,235	35,86	13,00	6,460	0,37	0,79	1,38

## Ацетамид

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [269]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
7,34	—	—	—	—	—	—	0,509	1,94	4,12
9,74	—	—	—	—	—	—	0,524	1,97	4,77
15,21	—	—	—	—	—	—	0,473	1,94	4,97
20,37	1,254	1,234	1,215	768,2	118,5	35,0	0,380	1,82	5,03
27,04	1,328	1,308	1,288	1993	270,0	70,3	0,290	1,54	4,84
32,95	1,384	1,363	1,343	2798	367,0	96,8	0,300	1,63	4,88
39,49	1,446	1,426	1,407	3342	472,5	125,1	0,361	1,78	5,32
49,54	1,527	1,509	1,487	1605	312,7	102,0	1,08	3,17	8,83
58,14	1,585	1,565	1,546	258,3	83,0	37,0	4,82	10,6	16,7
67,43	1,646	1,625	1,604	77,4	30,9	16,6	16,9	23,6	27,5
74,77	1,691	1,670	1,648	40,4	18,2	10,4	—	—	—
79,42	1,728	1,706	1,685	27,6	13,4	7,91	23,5	27,3	29,6
86,93	1,763	1,739	1,717	22,4	10,9	6,49	25,5	28,3	29,9
94,97	—	—	—	—	—	—	20,0	25,5	28,3
100,0	1,8267	1,8015	1,7773	24,54	10,97	6,090	10,4	22,7	39,7

SbCl<sub>3</sub> [67]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 <sup>2</sup> при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
10,23	—	—	—	—	—	—	2,25	8,48	19,48
19,75	1,561	1,530	1,500	175,5	42,5	11,0	1,64	8,21	22,4
25,42	1,690	1,659	1,627	359,6	74,5	15,2	1,60	9,36	27,2
30,52	1,811	1,777	1,744	868,0	86,0	19,7	1,57	10,25	31,9
39,68	1,996	1,957	1,919	1050	960	237	2,16	14,1	42,6
50,13	2,189	2,149	2,109	923	86,9	22,8	3,46	20,6	55,8
60,33	2,354	2,308	2,262	518,8	64,7	17,9	6,90	33,5	76,8
69,43	2,483	2,435	2,388	218,8	35,1	12,2	16,0	55,8	102,4
80,84	2,261	2,272	2,264	58,2	15,0	6,90	28,3	73,5	117,5
87,68	—	—	—	—	—	—	34,8	71,2	109,8
100,0	2,794*	2,736*	2,676	8,92*	3,94*	2,41	—	2,54*	3,57

\* Переохлажденное состояние

## N-Метилацетамид

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> [272]

5,75	—	—	—	—	—	—	0,105	0,213	0,382
11,14	1,045	1,008	0,9890	21,9	8,91	4,83	0,127	0,294	0,560
15,71	—	—	—	—	—	—	0,116	0,275	0,556
21,54	1,132	1,112	1,093	138,9	40,1	16,8	0,082	0,239	0,550
25,53	—	—	—	—	—	—	0,083	0,250	0,600
32,17	1,229	1,288	1,189	786,1	159,9	53,1	0,097	0,343	0,998
42,00	1,318	1,298	1,279	2468	391,9	107,8	0,142	0,719	1,97
52,38	1,412	1,394	1,382	5664	639,5	156,4	0,229	1,19	4,11
58,88	1,467	—	—	—	—	—	0,305	1,99	6,25
61,56	1,496	1,479	1,459	8386	854,0	187,4	0,407	2,33	7,67
71,32	1,585	1,569	1,552	5117	639,8	158,5	1,10	5,47	15,2
81,31	1,675	1,658	1,642	1269	271,3	88,6	4,88	15,9	38,5
90,55	1,768	1,757	1,724	359,1	103,1	42,5	17,1	41,3	82,8
100,0	1,8681	1,8485	1,8290	178,0	64,1	29,5	45,9	100,3	169,1

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [269]

6,05	—	—	—	—	—	—	2,31	4,51	7,27
11,40	1,063	1,043	1,022	27,0	10,3	5,47	1,98	4,52	7,93
16,30	1,110	1,090	1,068	52,0	24,6	8,90	1,41	3,80	7,39
19,98	—	—	—	—	—	—	1,06	3,23	6,98
23,08	1,164	1,142	1,121	188,8	43,3	17,2	0,899	2,77	6,61
35,01	1,293	1,273	1,254	1398	207,8	63,4	0,440	2,18	5,86
42,04	1,356	1,337	1,320	2314	342,8	96,9	0,400	2,06	5,82
52,59	1,448	1,428	1,411	1292	266,5	89,1	1,055	3,89	9,12
67,00	1,543	1,506	1,488	152,7	54,7	26,0	8,66	15,2	25,9



## Продолжение

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^3$ при T, K			$\kappa \cdot 10$ при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
71,70	1,586	1,564	1,547	51,1	21,0	11,7	20,8	28,0	34,1
81,40	0,665	1,642	1,623	24,8	12,2	7,28	32,5	37,3	41,7
90,83	1,748	1,722	1,700	19,9	9,89	6,06	34,3	39,5	44,9

SbCl<sub>3</sub> [67]

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^3$ при T, K			$\kappa \cdot 10^2$ при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
5,43	—	—	—	—	—	—	8,40	17,6	29,7
11,41	1,208	1,182	1,157	16,5	6,23	3,17	6,88	16,8	31,6
16,33	—	—	—	—	—	—	4,44	13,8	27,9
21,41	1,430	1,402	1,374	69,4	16,3	6,24	3,16	12,3	27,5
27,27	—	—	—	—	—	—	1,91	10,5	29,0
32,05	1,664	1,627	1,618	328,9	35,0	12,8	1,56	10,1	30,9
36,73	—	—	—	—	—	—	1,49	11,4	34,7
41,90	1,862	1,828	1,794	1176	93,6	21,1	1,34	12,1	38,2
52,73	2,073	2,034	2,013	1820	125,0	26,7	1,57	16,8	57,1
55,65	—	—	—	—	—	—	1,82	21,1	62,8
62,46	2,255	2,210	2,172	1111	933	222	5,03	30,8	79,3
71,24	2,402	2,354	2,313	394,6	45,8	14,9	13,8	60,9	121
81,30	2,558	2,509	3,469	96,6	20,9	7,99	31,6	89,8	151
90,91	—	—	—	—	—	—	41,1	113	195

Br<sub>2</sub> [67]

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K		$\eta \cdot 10^3$ при T, K		$\kappa$ при T, K	
	298	323	298	323	298	323
10,01	1,120	1,096	6,43	3,11	0,444	0,834
19,49	1,286	1,259	8,51	3,78	0,637	1,21
29,50	1,478	1,445	11,1	4,51	0,926	1,86
42,41	1,739	1,635	12,9	5,11	1,32	2,64
49,03	1,884	1,849	12,7	5,06	1,79	3,33
59,71	2,129	2,090	9,63	4,26	2,83	4,73
70,48	2,365	2,313	5,96	3,19	4,43	6,44
79,43	2,588	2,552	3,74	2,35	5,14	6,41
84,91	—	—	—	—	3,78	4,79
89,40	2,841	2,782	1,86	1,35	2,91	3,47
100,0	3,101	3,017	0,942	0,746	—	—

## N,N-Диметилацетамид

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [269]

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^3$ при T, K			$\kappa \cdot 10$ при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
7,04	—	—	—	—	—	—	2,71	3,82	5,04
9,97	—	—	—	—	—	—	3,09	4,57	6,07
12,59	1,042	1,019	0,997	3,20	2,01	1,50	3,36	4,90	6,75
19,76	—	—	—	—	—	—	2,65	4,70	7,17
23,54	1,145	1,121	1,100	20,7	9,02	5,09	2,01	4,07	6,64
32,65	—	—	—	—	—	—	0,721	2,41	5,28
36,44	1,270	1,256	1,229	587,3	178,8	39,3	0,510	1,85	4,70
44,26	1,342	1,320	1,301	3790	503,6	134,6	0,213	1,18	3,47
54,43	1,418	1,398	1,382	2859	531,0	161,8	0,509	2,12	5,23
63,92	1,476	1,457	1,440	2331	79,8	36,6	6,18	11,7	16,8
71,17	1,530	1,509	1,491	64,1	27,7	15,3	14,9	19,3	28,0
82,47	1,634	1,611	1,590	23,5	11,8	7,22	29,3	36,3	41,8
91,75	1,733	1,709	1,687	19,0	9,40	5,81	35,1	42,5	51,2
100,0	1,8266	1,8015	1,7773	24,52	10,97	6,09	10,4	22,7	39,7

## NaI [99]

c	$\kappa$	$\epsilon_s$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$
0*	—	38,6	5,0	15
0,20	0,0771	35,1	—	17
0,40	0,120	32,9	—	22,5
0,70	0,151	29,7	—	24
0**	—	39,3	5,0	15,5
0,04	0,208	37,9	—	16
0,10	0,441	37,3	—	17
0,20	0,731	36,1	—	20
0,40	1,17	34,4	—	20

\* Растворитель содержал 0,25% воды. \*\* Растворитель содержал 0,80% воды.

## Четвертичные аммониевые соли [281]

c	$\kappa$ для растворов солей			
	Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,07407	0,07246	0,07194	0,06536
0,05	0,284	0,284	0,248	0,240
0,10	—	0,427	0,429	0,400
0,50	—	—	—	0,855
1,00	—	—	—	0,820

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 <sup>2</sup> при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
4,85							21,2	28,0	37,1
9,94	1,123	1,097	1,070	2,21	1,33	0,85	25,9	39,0	52,7
14,92	—	—	—	—	—	—	17,8	30,7	45,0
20,02	1,314	1,285	1,258	7,57	3,36	1,77	11,6	24,7	38,8
29,99	1,512	1,481	1,450	38,8	9,58	4,38	4,11	12,4	25,7
34,73	—	—	—	—	—	—	2,95	10,8	24,7
39,92	1,708	1,674	1,642	219,7	36,0	12,2	2,12	10,0	25,5
49,99	1,916	1,874	1,839	1124	90,9	23,4	1,60	12,1	35,5
59,74	2,103	2,061	2,026	2027	125,7	23,7	1,83	17,8	52,9
70,26	2,297	2,258	2,216	768,9	73,5	20,7	7,20	41,9	96,9
89,87	2,648	2,595	2,541	—	—	—	43,0	90,1	13,53

Br<sub>2</sub> [67]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К		η·10 <sup>3</sup> при T, К		κ при T, К	
	298	323	298	323	298	323
10,22	1,087	1,063	1,71	1,14	1,30	1,51
19,95	1,245	1,221	3,80	2,20	1,16	1,43
30,13	1,420	1,394	9,03	4,45	0,888	1,21
39,13	1,612	1,585	34,7	12,1	0,527	1,00
50,39	1,856	1,827	77,1	21,5	0,554	1,43
59,82	2,075	2,042	35,9	13,2	1,57	3,56
69,51	2,320	2,279	16,8	7,44	3,54	6,26
79,78	2,588	2,558	8,15	4,37	5,49	8,42
89,81	2,858	2,798	2,53	1,75	4,10	5,44

*N*-МетилпропионамидLiClO<sub>4</sub> [63]

X·100	c <sub>298</sub>	Свойства растворов при T, К						
		223	238	248	273	298	323	348
		ρ·10 <sup>-3</sup>						
0	0	0,9913	0,9791	0,9709	0,9507	0,9308	0,9106	0,8905
0,8569	0,09211	0,9992	0,9870	0,9788	0,9583	0,9382	0,9173	0,8972
1,728	0,1867	1,0046	0,9928	0,9842	0,9644	0,9450	0,9249	0,9043
4,326	0,4751	1,0245	1,0134	1,0049	0,9851	0,9659	0,9453	0,9259
8,742	0,9856	1,0612	1,0489	1,0410	1,0211	1,0012	0,9805	0,9610
13,185	1,525	1,0955	1,0836	1,0759	1,0561	1,0363	1,0166	0,9968
17,73	2,107	—	—	—	—	1,0761	1,0556	1,0359
		η·10 <sup>3</sup>						
0	0	—	62,15	35,98	11,87	5,214	2,818	1,686
0,8569	0,09211	298,4	72,92	41,69	13,27	5,707	2,990	1,824
1,728	0,1867	362,2	85,48	47,66	14,76	6,211	3,224	1,950
4,326	0,4751	680,4	139,3	72,44	20,54	8,226	4,108	2,415

X·100	c <sub>298</sub>	Свойства растворов при T, К						
		223	238	248	273	298	323	348
8,742	0,9856	2257	343,0	158,9	38,33	14,41	6,606	3,673
13,185	1,525	—	930,6	387,4	78,85	27,55	11,24	6,133
17,73	2,107	—	—	—	—	52,755	20,06	9,865
		κ·10						
0	0	—	3,47·10 <sup>-5</sup>	1,28·10 <sup>-4</sup>	1,72·10 <sup>-4</sup>	3,72·10 <sup>-4</sup>	7,66·10 <sup>-4</sup>	1,38·10 <sup>-3</sup>
0,8569	0,09211	0,0238	0,0855	0,145	0,424	0,890	1,56	2,415
1,728	0,1867	0,0369	0,139	0,238	0,710	1,51	2,66	4,14
4,326	0,4751	0,0463	0,207	0,355	1,16	2,57	4,64	7,37
8,742	0,9856	0,0268	0,155	0,305	1,17	2,86	5,49	9,09
13,185	1,525	0,0100	0,088	0,190	0,862	2,30	4,92	8,39
17,73	2,107	—	—	—	—	1,52	3,47	6,69

LiBF<sub>4</sub> [282]

X·100	c <sub>298</sub>	Свойства растворов при T, К				
		248	273	298	323	348
		ρ·10 <sup>-3</sup>				
0,9503	0,102	0,9793	0,9586	0,9384	0,9181	0,8981
1,520	0,164	0,9826	0,9618	0,9416	0,9214	0,9014
2,584	0,281	0,9890	0,9684	0,9479	0,9277	0,9079
5,209	0,574	1,0052	0,9846	0,9645	0,9448	0,9245
6,119	0,679	1,0112	0,9908	0,9706	0,9507	0,9305
7,311	0,816	1,0189	0,9986	0,9788	0,9585	0,9383
8,159	0,916	1,0244	1,0041	0,9839	0,9642	0,9440
9,443	1,069	1,0328	1,0124	0,9923	0,9725	0,9527
11,80	1,354	1,0488	1,0285	1,0083	0,9887	0,9690
13,84	1,607	1,0629	1,0425	1,0223	1,0029	0,9835
15,29	1,795	1,0734	1,0529	1,0329	1,0134	0,9941
16,17	1,904	1,0793	1,0588	1,0387	1,0193	1,0006
19,20	2,303	1,1013	1,0805	1,0604	1,0412	1,0235
22,29	2,727	1,1243	1,1032	1,0830	1,0639	1,0476
		η·10 <sup>3</sup>				
0,9503	0,102	42,03	13,06	5,690	3,027	1,837
2,584	0,281	52,59	15,72	6,667	3,480	2,115
5,209	0,574	77,06	21,54	8,699	4,401	2,671
7,311	0,816	106,7	28,13	10,91	5,375	3,235
9,443	1,069	151,1	37,46	13,90	6,656	3,945
11,80	1,354	228,0	52,35	18,43	8,542	4,940
15,29	1,795	442,3	89,49	29,05	12,77	6,967
19,20	2,303	950,0	173,2	50,55	20,88	10,40
22,29	2,727	2081	310,2	82,41	32,22	14,41

X·100	c <sub>298</sub>	Свойства растворов при T, K				
		248	273	298	323	348
κ · 10						
0,9503	0,102	0,1348	0,378	0,833	1,468	2,206
1,520	0,164	0,1961	0,568	1,227	2,159	3,217
2,584	0,281	0,2768	0,833	1,827	3,237	4,736
5,209	0,574	0,3851	1,172	2,596	4,709	7,100
6,119	0,679	0,3846	1,206	2,690	4,855	7,577
7,311	0,816	0,3672	1,200	2,727	5,000	7,991
8,159	0,916	0,3448	1,198	2,720	5,045	8,163
9,443	1,009	0,3085	1,129	2,678	5,035	8,258
11,80	1,354	0,2404	0,965	2,472	4,843	8,020
13,84	1,607	0,1886	0,811	2,205	4,480	7,509
15,29	1,795	0,1566	0,703	1,981	4,136	7,039
16,17	1,904	0,1396	0,640	1,847	3,906	6,732
19,20	2,303	0,0902	0,439	1,363	3,143	5,670
22,29	2,727	0,042	0,263	0,923	2,288	4,881

NaI [283]

c	ρ · 10 <sup>-3</sup>	c	ρ · 10 <sup>-3</sup>	c	ρ · 10 <sup>-3</sup>	c	ρ · 10 <sup>-3</sup>	c	ρ · 10 <sup>-3</sup>
298 K		308 K		318 K		333 K		353 K	
0,1552	0,9559	0,1538	0,9477	0,1525	0,9411	0,1506	0,9275	0,1457	0,9097
0,3645	0,9789	0,3616	0,9707	0,3584	0,9650	0,3539	0,9492	0,3478	0,9337
0,5647	0,0011	0,5599	0,9925	0,5551	0,9841	0,5485	0,9724	0,5390	0,9556
0,7990	1,0263	0,7927	1,0183	0,7856	1,0091	0,7762	0,9971	0,7636	0,9808
1,1347	1,0630	1,1257	1,0547	1,1165	1,0460	1,1034	1,0337	1,0858	1,0172
1,5512	1,1087	1,5394	1,1002	1,5272	1,0915	1,5105	1,0795	1,4868	1,0626
2,0094	1,1584	1,9953	1,1503	1,9795	1,1412	1,9579	1,1287	1,9230	1,1086

T, K	ρ · 10 <sup>-3</sup>	δ · 10 <sup>4</sup>
298	0,93889 + 0,10987 c - 0,3026 · 10 <sup>-3</sup> c <sup>2</sup>	2,6
308	0,93071 + 0,11066 c - 0,3277 · 10 <sup>-3</sup> c <sup>2</sup>	4,3
318	0,93335 + 0,11665 c - 0,9095 · 10 <sup>-3</sup> c <sup>2</sup>	7,6
333	0,91067 + 0,11204 c - 0,3226 · 10 <sup>-3</sup> c <sup>2</sup>	2,7
353	0,89244 + 0,11886 c - 0,3291 · 10 <sup>-3</sup> c <sup>2</sup>	26

X·100	η · 10 <sup>3</sup>		λ · 10		η · 10 <sup>3</sup>		λ · 10		η · 10 <sup>3</sup>		λ · 10	
	298 K		308 K		318 K		333 K		353 K			
1,4291	6,156	5,982	4,772	7,675	3,669	9,695	2,673	13,084	1,812	18,777		
3,3216	7,481	4,371	5,728	5,667	4,466	7,205	3,200	9,680	2,197	14,066		
5,0945	9,149	3,358	6,859	4,393	5,352	5,630	3,824	7,745	2,606	11,199		
7,1305	11,967	2,523	8,811	3,337	6,743	4,328	7,735	6,012	3,178	8,774		
9,9571	17,251	1,703	12,623	2,291	9,493	3,025	6,556	4,275	4,340	6,357		
13,3633	27,059	1,030	18,938	1,436	13,791	1,943	9,381	2,836	5,891	4,352		
16,9584	49,680	0,585	32,951	0,854	22,693	1,203	14,325	1,834	8,577	2,951		

NaI, KI [65]

m	ρ · 10 <sup>-3</sup> при T, K				m соли	ρ · 10 <sup>-3</sup> при T, K			
	288	298	328	358		288	298	328	358
NaI					KI				
0,543	0,945	0,935	0,914	0,893	1,415	1,051	1,042	1,022	0,999
1,101	0,984	0,974	0,954	0,925	2,204	1,120	1,111	1,088	1,063
2,268	1,058	1,052	1,029	1,002	3,064	1,185	1,178	1,155	1,123
2,85	1,107	1,102	1,079		4,060	1,242	1,239	1,215	1,190
Насыщ. при 288 K	1,230	1,213	1,188		Насыщ. при 288 K	1,333	1,324	1,301	

Пиридин

LiClO<sub>4</sub> [284]

T, K	ρ · 10 <sup>-3</sup> = a + bc		ρ · 10 <sup>-3</sup> = a + bt		
	a	b · 10 <sup>2</sup>	X·100	a	-b · 10 <sup>4</sup>
273	1,0034	7,7236	1,4333	1,01735	10,06
298	0,9782	7,9960	1,9965	1,0234	10,04
323	0,9525	8,4750	3,0114	1,0337	9,88
	0 < C < 0,65		3,9880	1,0434	9,82
			4,9742	1,0534	9,70

X·100	η · 10 <sup>3</sup>		κ · 10		η · 10 <sup>3</sup>		κ · 10	
	273 K		298 K		323 K			
1,4333	1,594	2,779	1,036	3,410	0,7322	3,693		
1,9965	1,724	3,459	1,110	4,340	0,7835	4,760		
3,0114	1,990	4,570	1,251	5,741	0,8705	6,396		
3,9880	2,257	5,284	1,410	6,642	0,9580	7,528		
4,9742	2,674	5,724	1,613	7,420	1,090	8,542		

Четвертичные аммониевые соли (295 K) [281]

c	κ растворов солей		
	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,03597	0,03003	0,02801
0,05	0,120	0,107	0,09709
0,10	0,225	0,193	0,176
0,50	—	—	0,515
1,0	—	—	0,599

Ацетон

Соли лития (298 К) [279]

<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	-Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	-Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	-Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
---------------------------	---------------------------	----------------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------------

LiBr

2,829	2,221	15,9	12,55	9,851	11,4	42,13	33,07	8,4
3,434	2,696	15,5	14,08	11,05	10,6	56,03	43,09	7,4
5,645	4,431	13,6	18,24	14,31	10,2	60,26	47,3	7,9
6,857	5,383	13,6	23,92	18,78	9,5	845,3	663,6	1,1
8,448	6,632	12,0	28,11	22,07	9,2	1117,9	877,6	0,5
11,25	8,831	11,1	42,08	33,03	8,2			

LiI

3,161	2,481	23,8	14,54	11,41	16,4	44,40	34,88	11,9
6,298	4,944	20,2	19,64	15,42	15,1	60,73	47,67	11,0
9,431	7,404	18,4	28,14	22,09	13,7	1302,4	1022,4	0,2

LiNO<sub>3</sub>

2,38	1,868	1,3	8,70	6,83	3,7	16,59	13,02	4,8
4,75	3,729	2,3	12,64	9,92	4,5	29,18	22,91	5,8
						612,8	481,0	13,7

NaI (298 К) [279]

<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	-Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	-Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	-Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
---------------------------	---------------------------	----------------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------------

2,09	1,64	15,1	8,499	6,672	10,4	25,31	19,87	-6,6
2,872	2,254	14,0	10,42	8,18	10,4	31,14	24,44	-6,5
4,17	3,27	13,4	13,09	10,28	9,1	32,93	25,85	-5,6
5,687	4,465	11,6	17,68	13,88	8,0	1177,1	924,0	+13,1
6,25	4,91	11,7	20,79	16,32	8,1	1356,8	1065,1	+13,9

Четвертичные аммониевые соли (295 К) [281]

<i>c</i>	κ растворов солей		
	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,150	0,1385	0,131
0,05	0,474	0,400	0,383
0,10	0,625	0,621	0,5525
0,50	—	—	1,285
1,00	—	—	1,285

Метилэтилкетон

LiClO<sub>4</sub> [285]

<i>X</i> ·100	<i>c</i> <sub>298</sub>	Свойства растворов при <i>T</i> , К									
		253	263	273	283	293	298	303	313	323	

ρ·10<sup>-3</sup>

0,8884	0,9937	0,8550	0,8447	0,8344	0,8241	0,8138	0,8087	0,8035	0,7932	0,7829
2,195	0,2485	0,8695	0,8593	0,8491	0,8389	0,8287	0,8237	0,8186	0,8034	0,7982
4,320	0,4970	0,8907	0,8807	0,8706	0,8605	0,8505	0,8454	0,8404	0,8304	0,8203

Продолжение

<i>X</i> ·100	<i>c</i> <sub>298</sub>	Свойства растворов при <i>T</i> , К									
		253	263	273	283	293	298	303	313	323	

6,377	0,7457	0,9124	0,9024	0,8925	0,8825	0,8726	0,8676	0,8627	0,8527	0,8428
8,380	0,9945	0,9328	0,9230	0,9132	0,9034	0,8935	0,8887	0,8838	0,8740	0,8640
11,89	1,4525	0,9725	0,9629	0,9533	0,9437	0,9341	0,9293	0,9245	0,9149	0,9052
15,57	1,9605	1,0162	1,0067	0,9973	0,9879	0,9784	0,9737	0,9690	0,9596	0,9501

η·10<sup>3</sup>

0,8884	0,09937	0,7236	0,6658	0,5880	0,5240	0,4660	0,4434	0,4254	0,3926	0,3642
2,195	0,2485	0,8605	0,7512	0,6575	0,5805	0,5186	0,4917	0,4677	0,4291	0,3947
4,320	0,4970	1,0520	0,9479	0,8032	0,7009	0,6304	0,5979	0,5652	0,5086	0,4626
6,377	0,7457	1,4333	1,1716	0,9998	0,8610	0,7510	0,7055	0,6627	0,5951	0,5377
8,380	0,9945	1,9038	1,5044	1,2650	1,0774	0,9233	0,8621	0,8051	0,7133	0,6404
11,89	1,4525	3,1710	2,6201	2,1263	1,7645	1,4492	1,3408	1,2422	1,0834	0,9508
15,57	1,9605	6,0714	4,6780	3,7612	3,1850	2,5468	2,3113	2,1079	1,7855	1,5457

Ацетонитрил

LiI (298 К) [279]

<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	<i>m</i> ·10 <sup>3</sup>	<i>c</i> ·10 <sup>3</sup>	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
3,95	3,066	1,7	21,0	16,3	3,2	40,6	31,5	4,2
7,90	6,13	2,4	27,6	21,42	3,6	46,8	36,3	4,4
14,45	11,22	2,8	34,1	26,47	4,0	1016,3		11,9

LiClO<sub>4</sub> [284]

<i>T</i> , К	ρ·10 <sup>-3</sup> = <i>a</i> + <i>b</i> <i>c</i>		ρ·10 <sup>-3</sup> = <i>a</i> + <i>b</i> <i>t</i>		
	<i>a</i>	<i>b</i> ·10 <sup>2</sup>	<i>X</i> ·100	<i>a</i>	- <i>b</i> ·10 <sup>3</sup>
273	0,8041	8,3936	1,0166	0,8207	1,052
298	0,7784	8,4280	1,9803	0,8373	1,068
323	0,7518	8,7509	3,0525	0,8548	1,068
	0 < <i>c</i> < 1,2		3,9782	0,8690	1,036
			4,9162	0,8853	1,044
			6,1270	0,9043	1,024

<i>X</i> ·100	η·10 <sup>3</sup>	κ	η·10 <sup>3</sup>		κ	
			273 К	289 К	273 К	289 К
1,0166	0,4972	1,235	0,3810	1,420	0,3007	1,700
1,9803	0,5650	1,777	0,4241	2,130	0,3310	2,433
3,0525	0,6737	2,054	0,4803	2,565	0,3718	2,920
3,9782			0,5431	2,800	0,4210	3,240
4,9162			0,6319	2,965	0,4867	3,438
6,1270			0,7591	3,052	0,5753	3,586

## NaI (298 K) [279]

$m \cdot 10^3$	$c \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$c \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$c \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
2,48	1,925	4,3	11,48	8,911	4,9	35,22	27,34	5,8
4,95	3,842	4,7	15,22	11,81	5,2	48,16	37,38	6,1
7,43	5,767	4,8	22,27	17,29	5,4	1048	—	17,0

## NaI (298 K) [170]

$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$c$	$\eta \cdot 10^3$	$c \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$c \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
0,00000	0,7768	0,00000	0,3419	0,30403	171,93	130,09	96,038
0,13009	0,7955	0,13009	0,3769	1,28400	165,70	160,70	91,492
0,16070	0,7997	0,24998	0,4094	1,47751	164,83	249,98	80,237
0,28442	0,8164	0,30514	0,4254	1,79938	163,31	305,14	75,157
0,52028	0,8484	0,34279	0,4366	2,70081	160,11	342,79	72,163
0,52109	0,8485	0,42221	0,4608	3,21555	158,65	422,21	66,049
0,87079	0,8948	0,52109	0,4918	4,27746	155,50	521,09	59,803
		0,69237	0,5562	5,93252	151,71	852,96	45,043
		0,85296	0,6179				

AgNO<sub>3</sub> (298 K) [65]

$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\Phi_V \cdot 10^3$
0,0	0,7748	—	2,5	1,163	19,81
1,0	0,9340	16,33	3,0	1,239	20,37
1,5	1,0120	17,05	3,5	1,390	21,35
2,0	1,0880	18,67			

$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
0	0,7768	0,359 <sub>4</sub>	0,7329	0,8950	0,534(3)	11,085
0,00992	0,7787	0,365 <sub>1</sub>	1,803	1,0611	0,956	16,16(3)
0,04219	0,7833	0,372 <sub>7</sub>	2,695	1,1950	1,56	18,93(9)
0,1576	0,8029	0,394 <sub>6</sub>	3,427	1,3034	2,36	20,88(2)
0,2863	0,8357	0,423 <sub>3</sub>	4,313	1,4320	3,70	23,14(0)
			6,162	1,6954	11,44	26,79(4)

AgNO<sub>3</sub> (298 K) [286]

$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
0	0,7768	0,359 <sub>4</sub>	0,7329	0,8950	0,534(3)	11,085
0,00992	0,7787	0,365 <sub>1</sub>	1,803	1,0611	0,956	16,16(3)
0,04219	0,7833	0,372 <sub>7</sub>	2,695	1,1950	1,56	18,93(9)
0,1576	0,8029	0,394 <sub>6</sub>	3,427	1,3034	2,36	20,88(2)
0,2863	0,8357	0,423 <sub>3</sub>	4,313	1,4320	3,70	23,14(0)
			6,162	1,6954	11,44	26,79(4)

Продолжение

$c$	$\lambda \cdot 10$	$c$	$\lambda \cdot 10$	$c$	$\lambda \cdot 10$
0,0000	188,80	0,2863	43,09	3,427	11,32
0,0099	124,27	0,7329	29,13	4,313	8,665
0,0421	84,65	1,807	18,50	6,162	4,497
0,1576	54,10	2,695	14,18		

## Четвертичные аммониевые соли (295 K) [281]

$c$	м растворов солей			
	Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,173	0,1675	0,164	0,1385
0,05	0,581	0,529	0,515	0,481
0,10	—	0,840	0,800	0,758(0,781)
0,50	—	2,00	1,80	1,801(2,56)
1,00	—	2,58	—	2,25

Bu<sub>4</sub>NBr [287]

$X \cdot 100$	$\eta \cdot 10^3$ при $T, K$						
	293	303	313	323	333	343	353
2,18	0,556	0,493	0,435	0,397	0,360	0,328	0,303
4,12	0,722	0,645	0,560	0,489	0,453	0,411	0,376
4,60	0,729	0,642	0,566	0,507	0,461	0,423	0,397
8,03	1,46	1,20	1,00	0,845	0,746	0,656	0,577
10,09	1,70	1,40	1,15	0,972	0,853	0,732	0,671
21,8	—	10,7	7,63	5,48	4,12	3,24	2,50

$X \cdot 100$	333	343	353	363	373	383	393
31,3	13,2	9,48	6,89	4,90	3,71	2,88	2,21
44,1	—	31,6	21,5	15,1	11,0	8,12	5,65
77,8	—	—	—	—	101,9	63,2	40,7
100	—	—	—	—	—	—	88,6

$X \cdot 100$	м при $T, K$						
	293	303	313	323	333	343	353
2,18	1,58	1,72	1,87	2,04	2,19	2,35	2,50
4,12	1,70	1,88	2,08	2,28	2,45	2,68	2,85
4,60	1,83	2,02	2,21	2,39	2,59	2,76	2,92
8,03	1,51	1,73	1,97	2,21	2,45	2,70	2,96
10,09	1,36	1,59	1,83	2,07	2,32	2,57	2,78
21,8	—	0,585	0,746	0,948	1,17	1,41	1,64

## Продолжение

	333	343	353	363	373	383	393
31,3	0,5881	0,779	0,992	1,21	1,46	1,74	2,05
44,1	—	0,340	0,471	0,617	0,776	1,00	1,30
77,8	—	—	—	—	0,122	0,189	0,270
100	—	—	—	—	—	—	0,144

SbCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> [245]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, K			η·10 <sup>3</sup> при T, K			κ·10 <sup>2</sup> при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348

SbCl<sub>3</sub>

0,00	0,7768	0,7490	0,7217	0,3396	0,2763	0,2250	—	—	—
9,88	1,092	1,062	1,030	0,694	0,527	0,377	2,65	3,47	4,49
19,77	1,378	1,340	1,301	1,303	0,937	0,572	3,21	4,73	6,37
29,77	1,631	1,589	1,547	2,554	1,375	0,847	2,62	4,27	6,44
39,68	1,862	1,816	1,770	4,641	2,100	1,144	2,27	4,16	6,75
51,01	2,089	2,043	1,992	7,633	3,080	1,586	2,51	5,03	7,71
59,87	2,250	2,199	2,146	9,833	3,759	1,859	3,13	6,11	9,20
69,74	2,358	—	—	10,74	4,110	—	3,90	7,36	10,62
79,19	2,547	2,484	2,432	11,86	4,755	2,250	4,19	7,38	9,67
85,65	2,626	2,567	2,510	11,01	4,571	2,442	3,81	6,33	7,90
100,0	—	2,736	2,681	8,920	3,940	2,310	—	—	—

FeCl<sub>3</sub>

5,06	0,894	0,867	0,839	0,533	0,414	0,320	1,43	2,00	2,90
8,49	0,972	0,944	0,916	0,820	0,606	0,454	1,67	2,44	3,76
14,39	1,103	1,073	1,046	1,952	1,255	0,880	1,53	2,46	4,18

## Бензонитрил

AgNO<sub>3</sub> (298 K) [65, 286]

c	ρ·10 <sup>-3</sup>	ΦV·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c·100	λ·10	c·100	λ·10
0,0	1,0088	—	0,0856	1,3330	0,544	13,184	51,76	3,079
0,9	1,0722	27,23	0,1993	1,4006	1,156	10,510	58,30	2,830
1,0	1,1432	27,55	0,4987	1,8529	2,504	6,606	90,70	2,980
2,0	1,2850	27,81	1,1343	2,8810	4,400	5,560	127,31	2,354
3,0	1,4260	28,16	2,4720	8,4568	14,370	4,120	189,1	1,950
			2,8962	12,452	31,19	3,607	314,0	1,0743
					37,30	3,500	351,3	0,9240
					39,95	3,420		

## Диметилсульфоксид

## LiCl [288]

$$\rho \cdot 10^{-3} = \rho_0 \cdot 10^{-3} - 8,6 \cdot 10^{-4}(t - 25) - 4,5 \cdot 10^{-6}(t - 25)^2 + 0,0331 \cdot c; 0,01 < c < 1,6$$

## LiCl (298 K) [288]

c	η·10 <sup>3</sup>	λ·10	c	η·10 <sup>3</sup>	λ·10
1,6	9,15	5,64	0,4	2,74	11,58
1,4	7,29	5,92	0,2	2,35	16,91
1,2	5,83	5,96	0,1	2,17	20,50
1,0	4,71	5,97	0,05	2,08	23,20
0,8	3,86	6,59	0,01	2,01	—
0,6	3,22	8,31			

## LiCl [65]

m	-ln γ <sub>±</sub> при T, K			m	-ln γ <sub>±</sub> при T, K		
	298	303	308		298	303	308
0,005	0,152	0,160	0,165	0,100	0,548	0,560	0,565
0,010	0,220	0,230	0,230	0,1200	0,582	0,592	0,600
0,020	0,306	0,310	0,310	0,1932	0,659		
0,030	0,360	0,364	0,365	0,4870	0,808		
0,050	0,440	0,440	0,447	0,9370	0,956		
0,080	0,511	0,520	0,525				

LiClO<sub>4</sub> [284]

T, K	ρ·10 <sup>-3</sup> = a + bc	
	a	b·10 <sup>2</sup>
298,15	1,0965	6,204
323,15	1,0716	6,472

X·100	η·10 <sup>3</sup>	κ·10	η·10 <sup>3</sup>	κ·10
	298 K		323 K	
1,0070	2,2606	3,400	1,425	5,186
2,0191	2,527	5,657	1,566	8,589
2,0260	2,831	7,400	1,725	11,33
3,9961	3,160	8,675	1,898	13,44
4,9626	3,528	9,598	2,082	15,08
6,0712	4,014	10,32	2,323	16,54
9,5206	6,713	9,728	3,705	16,30
14,8508	21,43	5,862	9,523	10,07

$$\rho \cdot 10^{-3} = at + b, \text{ где } a = 0,00101$$

c	$\rho \cdot 10^{-3}$	c	$\rho \cdot 10^{-3}$	c	$\rho \cdot 10^{-3}$
0,00000	1,12066	0,00376	1,12104	0,02387	1,12334
0,00081	1,12072	0,00463	1,12113	0,03160	1,12421
0,00105	1,12073	0,00502	1,12118	0,03875	1,12501
0,00141	1,12077	0,00511	1,12121	0,06236	1,12769
0,00150	1,12078	0,00536	1,12123	0,11958	1,13418
0,00164	1,12079	0,00548	1,12126	0,13475	1,13590
0,00177	1,12080	0,00576	1,12128	0,18403	1,14149
0,00234	1,12086	0,00740	1,12147	0,24085	1,14790
0,00256	1,12089	0,00857	1,12161	0,29145	1,15351
0,00300	1,12094	0,01380	1,12219	0,37891	1,16351
0,00312	1,12096	0,01637	1,12249	0,52709	1,17994

## NaI (298 K) [99]

c*	$\kappa$	$\varepsilon$	$\varepsilon_{\infty}$	$\tau \cdot 10^{12}$	c*	$\kappa$	$\varepsilon$	$\varepsilon_{\infty}$	$\tau \cdot 10^{12}$
0		47,1	5,7	19,4	0,20	0,475	44,7	—	20,4
0,04	0,116	47,1	—	19,3	0,50	0,890	40,7	—	23,0
0,10	0,268	46,1	—	19,7	1,00	1,049	35,4	—	29,0

\* Растворитель содержал 0,1% воды.

NaClO<sub>4</sub> [65]

c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
298 K				308 K			
1503,4	1,2030	9,1551	6,213	1490,0	1,1922	6,4248	8,478
755,44	1,1422	3,6837	15,11	749,55	1,1333	2,9379	18,92
380,69	1,1120	2,6010	21,74	376,69	1,1003	2,1060	26,57
122,82	1,1005	2,1644	27,84	121,63	1,0898	1,7794	33,56
58,252	1,0983	2,0770	30,41	57,679	1,0875	1,7136	36,64
45,633	1,0980	2,0598	31,00	45,176	1,0870	1,6971	37,36
16,557	1,0970	2,0199	33,55	16,391	1,0860	1,6670	40,11
10,056	1,0965	2,0121	34,51	9,9579	1,0858	1,6650	41,38
4,4262	1,0963	2,0059	35,42	4,3834	1,0857		42,86
1,9806	1,0962		36,48	1,9615	1,0856		44,08
0,76837	1,0961		37,35	0,76101	1,0856		44,91
0,39829	1,0961		37,70	0,39444	1,0855		45,49
0,16144	1,0960		37,97	0,15989	1,0855		45,96
0,065889	1,0960		38,26	0,065258	1,0855		46,18
318 K				328 K			
1469,0	1,1755	4,7466	11,19	1449,7	1,1600	3,6991	14,26
739,43	1,1180	2,4261	23,14	729,92	1,1021	1,9081	27,63
372,65	1,0885	1,7481	31,68	368,71	1,0770	1,4825	36,96
120,39	1,0787	1,4936	39,65	119,20	1,0680	1,2790	46,04

c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
57,085	1,0763	1,4430	43,21	56,528	1,0658	1,2332	50,15
44,719	1,0760	1,4286	44,11	44,261	1,0650	1,2229	51,14
16,225	1,0750	1,4060	47,82	16,059	1,0640	1,2024	55,39
9,8579	1,0749	1,4021	49,09	9,7570	1,0639	1,1990	56,66
4,3394	1,0748	1,4008	49,75	4,2950	1,0638		58,57
1,9416	1,0746		51,32	1,9219	1,0637		60,56
0,75530	1,0746		52,39	0,74565	1,0637		61,95
0,39048	1,0746		53,12	0,38652	1,0637		62,78
0,15827	1,0745		53,65	0,15668	1,0637		63,48
0,064597	1,0745		54,04	0,063948	1,0637		63,83

## NaSCN [65]

c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
298 K				308 K			
255,08	1,1155	2,3656	25,43	252,45	1,1040	1,9342	30,59
56,061	1,1001	2,0786	34,07	55,501	1,0891	1,7127	40,72
26,717	1,0979	2,0350	37,70	26,450	1,0869	1,6802	44,82
10,772	1,0967	2,0152	38,49	10,666	1,0859	1,6656	45,92
8,3583	1,0965	2,0104	38,86	8,2767	1,0858	1,6606	46,59
5,8229	1,0962	2,0067	39,86	5,7666	1,0856		47,52
3,8448	1,0961		40,40	3,8076	1,0855		48,30
0,53654	1,0960		42,84	0,53140	1,0855		51,31
0,10212	1,0960		43,53	0,10114	1,0855		52,34
318 K				328 K			
250,03	1,0934	1,6241	35,96	247,88	1,0840	1,3791	41,50
54,925	1,0778	1,4406	47,72	54,420	1,0679	1,2334	54,99
26,182	1,0759	1,4144	51,91	25,936	1,0658	1,2091	59,86
10,558	1,0749	1,4011	54,70	10,461	1,0650	1,2003	63,33
8,1929	1,0748	1,3995	55,13	8,1167	1,0648	1,1989	63,72
5,7082	1,0746	1,3973	55,64	5,6556	1,0647	1,1971	64,28
3,7690	1,0745		56,62	3,7340	1,0645		66,52
0,52601	1,0745		60,44	0,52107	1,0644		69,95
0,10012	1,0745		61,35	0,099165	1,0643		70,66

CH<sub>3</sub>SONa [65]

c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	c · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
298 K				308 K			
55,561	1,0994	2,0852		55,046	1,0892	1,7203	
23,840	1,0975	2,0520		23,615	1,0871	1,6824	
13,962	1,0970	2,0255		13,829	1,0865	1,6710	
6,8162	1,0967	2,0139		6,7800	1,0861	1,6635	

## Продолжение

$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
5,1732	1,0965	2,0088		5,1237	1,0860	1,6602	
2,9997	1,0964	2,0060		2,9797	1,0858	1,6586	
2,4141	1,0960		30,78	2,3910	1,0855		37,11
1,4083	1,0960		31,76	1,3948	1,0855		38,33
1,2695	1,0960		31,87	1,2573	1,0855		38,44
1,2002	1,0960		32,09	1,1887	1,0855		38,71
1,0449	1,0960		32,40	1,0349	1,0855		39,18
0,97260	1,0960		32,73	0,96328	1,0855		39,54

318 K

328 K

54,480	1,0780	1,4445		53,924	1,0670	1,2360	
23,373	1,0760	1,4166		23,139	1,0652	1,2134	
13,686	1,0753	1,4071		13,549	1,0645	1,2053	
6,7095	1,0748	1,4043		6,6421	1,0640	1,1988	
5,0703	1,0747	1,3971		5,0189	1,0638	1,1966	
2,9401	1,0746	1,3955		2,9103	1,0637	1,1953	
2,3667	1,0745		43,90	2,3430	1,0637		50,82
1,3807	1,0745		45,36	1,3668	1,0637		52,55
1,2446	1,0745		45,50	1,2321	1,0637		52,72
1,1767	1,0745		45,83	1,1649	1,0637		53,04
1,0244	1,0745		46,29	1,0141	1,0637		53,64
0,95352	1,0745		46,74	0,94391	1,0637		54,27

CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>Na [65]

$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
298 K				308 K			
416,96	1,1382	2,6591	18,59	413,30	1,1282	2,1615	22,68
122,04	1,1088	2,1649	25,33	120,88	1,0983	1,7819	30,59
72,663	1,1035	2,1004	27,21	71,972	1,0930	1,7320	32,69
42,020	1,1005	2,0558	28,76	41,612	1,0898	1,6968	34,85
15,165	1,0976	2,0204	31,12	15,021	1,0872	1,6693	37,14
9,0608	1,0970	2,0110	31,98	8,9749	1,0866	1,6611	38,22
6,4227	1,0963		32,55	6,3606	1,0862		38,73
5,7623	1,0967		32,79	5,7066	1,0861		39,08
4,6135	1,0966		33,14	4,5685	1,0859		39,51
4,3611	1,0965		33,32	4,3186	1,0858		39,77
3,5867	1,0964		33,60	3,5517	1,0857		40,14
1,1382	1,0962		34,95	1,1272	1,0856		42,04
318 K				328 K			
409,85	1,1188	1,7978	26,93	406,08	1,1085	1,5239	31,31
119,70	1,0876	1,4981	35,92	118,56	1,0772	1,2795	41,70
71,267	1,0823	1,4568	38,58	70,569	1,0717	1,2462	44,69
41,199	1,0790	1,4296	40,75	40,791	1,0683	1,2229	47,23
14,866	1,0760	1,4045	44,15	14,719	1,0653	1,2028	51,48
8,8816	1,0753	1,3969	45,54	8,7940	1,0647	1,1993	53,08
6,2950	1,0750		46,12	6,2342	1,0646		53,94
5,6482	1,0750		46,36	5,5920	1,0643		54,30

## Продолжение

$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
4,5222	1,0749		46,73	4,4772	1,0642		54,95
4,2742	1,0749		47,14	4,2323	1,0641		55,12
3,5161	1,0743		47,56	3,4808	1,0640		55,63
1,1158	1,0746		49,59	1,1046	1,0638		57,70

NaB(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> [65]

$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$c \cdot 10^3$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
298 K				308 K			
21,043	1,1088	2,0454	—	20,847	1,0979	1,6839	—
14,929	1,1050	2,0297	—	14,786	1,0941	1,6757	—
11,980	1,1031	2,0251	—	11,865	1,0924	1,6700	—
11,736	1,1030	—	20,69	11,622	1,0923	—	25,49
10,202	1,1020	2,0214	—	10,105	1,0914	1,6669	—
8,4644	1,1009	2,0157	—	8,3833	1,0904	1,6631	—
7,5363	1,1005	—	21,53	7,4630	1,0893	—	25,89
6,6772	1,0999	2,0109	—	6,6132	1,0894	1,6601	—
5,4698	1,0991	—	22,19	5,4181	1,0877	—	26,76
3,8890	1,0982	—	22,56	3,8521	1,0878	—	27,19
2,9139	1,0977	—	23,00	2,8860	1,0872	—	27,80
2,1963	1,0973	—	23,16	2,1751	1,0867	—	28,03
1,6792	1,0970	—	23,48	1,6630	1,0864	—	28,46
1,1955	1,0967	—	23,78	1,1839	1,0861	—	28,76
318 K				328 K			
20,635	1,0873	1,4234	—	20,480	1,0758	1,2197	—
14,637	1,0835	1,4097	—	14,489	1,0722	1,2086	—
11,745	1,0817	1,4076	—	11,627	1,0705	1,2047	—
11,507	1,0815	—	29,51	11,389	1,0704	34,37	—
10,002	1,0805	1,4038	—	9,9017	1,0695	1,2028	—
8,2984	1,0795	1,4016	—	—	—	—	—
7,3884	1,0789	—	30,66	7,3124	1,0678	—	35,99
6,5462	1,0783	1,3990	—	6,4804	1,0674	1,1986	—
5,3628	1,0776	—	31,87	5,3086	1,0667	—	37,43
3,8125	1,0766	—	32,19	3,7742	1,0658	—	37,99
2,8563	1,0760	—	32,92	2,8276	1,0652	—	38,84
2,1529	1,0756	—	33,26	2,1313	1,0648	—	39,32
1,6462	1,0754	—	33,90	1,6295	1,0645	—	39,81
1,1917	1,0751	—	34,14	1,600	1,0642	—	40,20



$\sigma$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$c$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
0,0	1,98	(39,1)	0,6	2,64	20,5
0,1	2,00	34,5	0,7	2,95	17,9
0,2	2,04	31,1	0,8	3,34	15,5
0,3	2,12	28,2	0,9	3,86	13,2
0,4	2,24	25,5	1,0	4,56	11,1
0,5	2,40	23,0			

$$-\ln \nu_{\pm} = -j + \int_0^m j d(\ln m)$$

$-1,7 m$	$j$	$-\lg \gamma$	$-\lg m$	$j$	$-\lg \gamma$
2,3	0,088	0,072	1,5	0,135	0,183
2,1	0,105	0,098	1,3	0,148	0,218
1,9	0,118	0,125	1,1	0,154	0,250
1,7	0,120	0,150			

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> [290]

$$\rho \cdot 10^{-3} = \sum_{i=1}^3 t^{i-1} \sum_{j=1}^4 a_{ij} X^{j-1}, \text{ где параметр } a_{ij} \text{ принимает следующие значения:}$$

$j$	$i=1$	$i=2$	$i=3$
1	1,12137	$-1,1345 \cdot 10^{-3}$	$1,2392 \cdot 10^{-6}$
2	0,40522	$2,5215 \cdot 10^{-3}$	$-9,7490 \cdot 10^{-6}$
3	$-0,19983$	$-6,5024 \cdot 10^{-3}$	$2,8680 \cdot 10^{-5}$
4	0,30596	$6,1089 \cdot 10^{-3}$	$-2,5261 \cdot 10^{-5}$

$$\ln(\eta \cdot 10^3) = A_1 + A_2 X + (B_1 + B_2 X)/(T - T_1 - T_2 X)$$

$i$	$A_i$	$B_i$	$T_i$	$\delta, \%$
1	$-8,65$	361	144,0	2,6
2	$-3,86$	2002	$-37,6$	

$$\ln(\lambda \cdot 10) = A_1 + A_2 X + A_3 X^2 + (B_1 + B_2 X + B_3 X^2)/(T - T_1 - T_2 X - T_3 X^2)$$

$i$	$A_i$	$B_i$	$T_i$	$\delta, \%$
1	5,492	$-345,4$	155,5	0,5
2	$-5,122$	$-590,4$	1,806	
3	9,095	315,2	124,6	

Bu<sub>4</sub>NBr [291]

X·100	$\eta \cdot 10^3$ при T, K							
	293	303	313	323	333	343	353	363
0	2,24	1,81	1,50	1,26	1,07	0,932	0,776	0,684
1,89	2,88	2,33	1,88	1,55	1,30	1,11	0,938	0,803

X·100	$\eta \cdot 10^3$ при T, K							
	293	303	313	323	333	343	353	363
4,65	4,27	3,36	2,65	2,11	1,72	1,46	1,220	1,050
10,9	—	7,52	5,46	4,14	3,22	2,54	2,060	1,660
15,8	—	15,60	10,20	7,36	5,46	4,06	3,130	2,45
	333	343	353	363	373	383	393	
28,3	18,7	12,6	8,82	6,30	4,68	3,31	2,53	
34,6	—	21,9	15,10	11,00	7,93	5,81	4,47	
51,2	—	—	45,70	30,90	19,90	14,7	10,60	
76,2	—	—	—	—	—	56,3	36,40	
100	—	—	—	—	—	—	89,60	

X·100	$\kappa$ при T, K							
	293	303	313	323	333	343	353	363
1,89	0,371	0,435	0,523	0,620	0,714	0,815	0,925	1,05
4,65	0,553	0,653	0,756	0,888	1,030	1,170	1,32	1,48
10,9	0,407	0,521	0,665	0,812	0,978	1,170	1,35	1,54
15,8	0,214	0,354	0,497	0,627	0,786	0,953	1,17	1,37
	333	343	353	363	373	383	393	
28,3	0,390	0,533	0,700	0,913	1,15	1,41	1,69	
34,6	—	0,356	0,485	0,629	0,799	0,970	1,16	
51,2	—	—	0,211	0,229	0,403	0,531	0,686	
66,3	—	—	—	—	0,242	0,382	0,490	
76,2	—	—	—	—	—	0,209	0,300	
100	—	—	—	—	—	—	0,146	

H-Pent<sub>4</sub>NCSN (328 K) [292]

$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$	$c$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$
2,549	0,909	276,6	0,1300	35,96	0,3654	1,0520	1,600	27,88	44,60
2,455	0,917	220,5	0,1991	43,90	0,1028	1,0768	1,316	43,45	57,17
2,360	0,923	92,0	0,5279	48,57	0,05740	1,0710	1,263	47,75	60,30
2,195	0,936	45,5	1,060	48,24	0,04512	1,0694	1,251	49,21	61,55
2,154	0,938	39,71	1,203	47,76	0,03393	1,0680	1,237	50,65	62,65
2,060	0,944	28,5	1,552	44,22	0,02068	1,0663	1,225	53,30	65,30
1,893	0,956	18,45	2,182	40,26	0,01567	1,0657	1,219	54,05	65,88
1,782	0,966	14,0	2,667	37,34	0,01223	1,0652	1,214	54,93	66,68
1,323	0,992	5,305	6,061	32,15	$9,264 \cdot 10^{-3}$	1,0649	1,212	56,56	68,54
1,281	0,996	4,843	6,800	32,93	$6,951 \cdot 10^{-3}$	1,0646	1,208	56,52	68,27
1,243	0,998	4,40	7,890	34,71	$4,917 \cdot 10^{-3}$	1,0643	1,207	58,33	70,40

<i>c</i>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$	<i>c</i>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$
1,039	1,0075	3,75	9,432	35,37	$3,725 \cdot 10^{-3}$	1,0642	1,206	59,50	71,76
0,9317	1,018	3,00	12,51	37,52	$2,465 \cdot 10^{-3}$	1,0640	1,204	61,27	73,76
0,7043	1,032	2,26	17,72	40,05	$1,730 \cdot 10^{-3}$	1,0639	1,204	62,14	74,78
0,5805	1,0404	1,952	21,69	42,34	$1,259 \cdot 10^{-3}$	1,0638	1,201	62,67	75,27

[изо-Pent<sub>3</sub>BuN] [BPh<sub>4</sub>] [65]

<i>c</i> · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	<i>c</i> · 10 <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$
298 K				308 K			
113,44	1,1180	2,4577	12,00	112,40	1,1078	2,0062	14,42
46,960	1,1051	2,1621	13,63	46,523	1,0948	1,7870	16,07
16,677	1,0992	2,0621	15,81	16,522	1,0890	1,6955	19,12
8,8974	1,0977	2,0313	17,55	8,8132	1,0873	1,6772	21,08
6,5546	1,0972	2,0216	18,76	6,4930	1,0869	1,6698	21,88
4,9055	1,0969	2,0175	18,65	4,8594	1,0866		22,48
3,6300	1,0968		18,98	3,5952	1,0863		22,73
1,4907	1,0962		20,25	1,4769	1,0860		24,54
0,38512	1,0968		21,08	0,38150	1,0857		25,48
318 K				328 K			
110,69	1,0909	1,6622	17,49	110,24	1,0865	1,4156	20,60
45,941	1,0811	1,5064	19,49	45,601	1,0731	1,2947	23,23
16,340	1,0770	1,4294	22,98	16,188	1,0670	1,2226	27,32
8,9216	1,0760	1,4119	25,30	8,6364	1,0655	1,2095	29,96
6,4261	1,0757	1,4067	26,20	6,3622	1,0650	1,2056	30,98
4,8084	1,0752		26,90	4,7615	1,0647	1,2022	31,83
3,5581	1,0751		27,31	3,5224	1,0643		32,43
1,4618	1,0749		29,27	1,4468	1,0639		34,47
0,37764	1,0747		30,30	0,37377	1,0637		35,64

SbCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> [245]

<i>X</i> · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при <i>T</i> , K			$\eta \cdot 10^3$ при <i>T</i> , K			$\kappa \cdot 10^2$ при <i>T</i> , K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
SbCl <sub>3</sub>									
0,00	1,0962	1,0704	1,0450	2,012	1,269	0,916	—	—	—
5,08	1,238	1,200	1,161	3,529	2,015	1,368	1,48	2,21	1,158
10,05	1,324	1,296	1,268	6,399	3,551	2,179	2,07	3,28	1,311
13,91	1,429	1,400	1,370	16,87	6,860	3,621	2,23	3,55	1,482
20,19	1,547	1,515	1,484	63,18	17,54	7,440	1,68	3,29	1,751
22,24	1,604	1,577	1,540	136,7	30,09	10,80	1,38	2,71	1,801
FeCl <sub>3</sub>									
4,11	1,162	1,130	1,102	7,064	3,852	2,569	3,48	6,10	9,54
7,18	1,206	1,173	1,144	12,13	5,355	3,335	4,04	8,38	10,3
9,98	1,250	1,213	1,183	22,69	7,658	4,245	3,25	8,21	15,2

<i>X</i> · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при <i>T</i> , K			$\eta \cdot 10^3$ при <i>T</i> , K			$\kappa \cdot 10^2$ при <i>T</i> , K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
12,90	1,296	1,255	1,225	56,37	12,70	6,031	2,14	6,91	14,4
19,30	1,391	1,345	1,311	376,1	24,72	8,286	0,34	2,51	6,45
21,22	1,418	1,372	1,338	991,0	43,00	11,74	0,18	1,77	5,50

## Насыщенные растворы солей (298 K) [65]

Соль	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^3$	Соль	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10^3$
LiCl	1,1666	23,158	291,7	AlCl <sub>3</sub>	1,1033	2,250	4,92
NaCl	1,0992	23,942	200	InCl <sub>3</sub>	1,1078	2,384	16,4
KCl	1,0965	2,232	179,3	InBr <sub>3</sub>	1,1635	3,035	165,7
RbCl	1,0989	2,011	73,32	In(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1,1192	2,487	253,3
CsCl	1,1009	2,179	108,5	PbCl <sub>2</sub>	1,2324	3,566	88,50
LiI	1,2323	2,140	113,3	SbCl <sub>3</sub>	1,4905	36,356	53,95
LiClO <sub>4</sub>	1,2187	8,155	788,4	CuCl <sub>2</sub>	1,1098	2,375	83,28
MgCl <sub>2</sub>	1,1110	15,594	632,3	ZnCl <sub>2</sub>	1,2593	8,409	266,4
CaCl <sub>2</sub>	1,1755	509,5	352	CdCl <sub>2</sub>	1,3815	26,256	172,9
SrCl <sub>2</sub>	1,2221	14,430	298,0	VCl <sub>2</sub>	1,0976	2,271	48,75
BaCl <sub>2</sub>	1,1519	12,688	493,2	VCl <sub>3</sub>	1,0995	2,169	77,32
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,2785	3,792	183,2	CrCl <sub>3</sub>	1,0958	2,187	11,33
		57,104		FeCl <sub>3</sub>	1,1283	2,8584	30,58

## Сульфолан

## Галогениды щелочных металлов и тетрабутиламмония (313 K) [279]

<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$
KI		RbI		CsI		BuNBr <sub>4</sub>		Bu <sub>4</sub> NI	
0,290	38,5	0,046	43,9	0,077	53,4	0,117	303,1	0,089	335,2
0,433	38,9	0,092	42,7	0,154	52,0	0,233	302,3	0,115	333,0
0,574	38,8	0,137	42,1	0,230	51,5	0,348	301,7	0,146	329,9
0,713	38,7	0,181	41,9	0,305	51,2	0,461	301,4	0,174	326,3
0,851	38,7	0,225	41,7	0,379	51,1	0,574	301,3	0,201	323,7
0,987	38,6	0,269	41,7	0,453	51,0	0,685	301,3		
		0,312	41,6	0,525	50,9	0,795	301,2		
		0,355	41,5			0,904	301,2		

## Четвертичные аммониевые соли [293]

<i>c</i> · 10 <sup>2</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>c</i> · 10 <sup>2</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>c</i> · 10 <sup>2</sup>	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\Phi_V \cdot 10^3$
303 K			313 K			323 K		

Et<sub>4</sub>NI

3,505	1,26354	176,4	3,480	1,25474	177,2	3,457	1,24591	178,0
6,403	1,26453	176,5	6,359	1,25575	177,2	6,315	1,24691	178,2
9,915	1,26572	176,6	9,847	1,25696	177,3	9,778	1,24812	178,3

## Продолжение

c·10 <sup>2</sup>	ρ·10 <sup>-3</sup>	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	c·10 <sup>2</sup>	ρ·10 <sup>-3</sup>	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	c·10 <sup>2</sup>	ρ·10 <sup>-3</sup>	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
303 К			313 К			323 К		
10,739	1,26300	176,6	10,665	1,25723	177,4	10,591	1,24838	178,5
12,229	1,26650	176,7	12,144	1,25773	177,5	12,061	1,24890	178,5
13,972	1,26707	176,8	13,875	1,25831	177,5	13,779	1,24948	178,6
17,647	1,26830	176,9	17,525	1,25955	177,7	17,405	1,25072	178,7

Pr<sub>4</sub>NI

3,906	1,26254	243,9	3,878	1,25376	245,0	3,851	1,24495	246,0
6,082	1,26264	244,1	6,039	1,25388	245,2	5,997	1,24508	246,3
9,552	1,26278	244,4	9,456	1,25404	245,5	9,391	1,24527	246,6
11,342	1,26286	244,5	11,263	1,25413	245,6	11,185	1,24536	246,8
13,405	1,26293	244,6	13,313	1,25420	245,8	13,221	1,24547	246,9
14,931	1,26297	244,8	14,828	1,25427	245,9	14,725	1,24552	247,1
18,858	1,26311	244,9	18,728	1,25442	246,1	18,598	1,24567	247,4

Bu<sub>4</sub>NI

—	—	—	2,335	1,25301	312,2	—	—	—
3,242	1,26161	310,2	3,220	1,25280	312,4	3,197	1,24399	314,1
6,285	1,26091	310,5	6,242	1,25212	312,6	6,198	1,24332	314,8
8,978	1,26028	310,7	8,915	1,25149	312,8	8,853	1,24273	314,6
13,016	1,25934	310,8	12,926	1,25057	312,9	12,855	1,24183	314,5
15,470	1,25876	310,9	15,362	1,24997	313,1	15,256	1,24125	314,4
19,399	1,25780	311,1	19,258	1,24905	313,2	19,124	1,24036	314,1

Pent<sub>4</sub>NI

3,057	1,26073	378,5	3,036	1,25193	381,2	3,015	1,24313	383,1
4,628	1,25991	378,5	4,596	1,25111	381,3	4,564	1,24233	383,2
6,713	1,25880	378,7	6,667	1,25000	381,6	6,621	1,24127	383,2
8,052	1,25803	378,9	7,999	1,24927	381,8	7,943	1,24057	383,4
9,518	1,25729	379,0	9,452	1,24848	382,0	9,387	1,23981	383,5
11,202	1,25637	379,2	11,121	1,24757	382,1	11,047	1,23894	383,6
13,527	1,25512	379,3	13,435	1,24630	382,3	13,340	1,23772	383,8

Hex<sub>4</sub>NI

3,679	1,25931	446,5	3,653	1,25051	449,9	3,628	1,24168	453,4
5,717	1,25762	446,8	5,677	1,24883	450,1	5,638	1,24001	453,5
8,468	1,25532	447,1	8,409	1,24654	450,4	8,350	1,23775	453,6
10,180	1,25389	447,2	10,109	1,24511	450,6	10,038	1,23634	453,7
12,361	1,25200	447,7	12,275	1,24329	450,7	12,189	1,23453	453,8
13,603	1,25097	447,7	13,509	1,24224	450,8	13,415	1,23349	453,9
17,470	1,24771	447,8	17,349	1,23898	451,1	17,227	1,23028	454,1

$$\Phi_V = \Phi_V^0 + S_V^* \sqrt{c}$$

Соль	Φ <sub>V</sub> <sup>0</sup> при T, К			S <sub>V</sub> <sup>*</sup> при T, К		
	303	313	323	303	313	323
Et <sub>4</sub> NI	176,0	176,7	177,4	2,16	2,35	3,12
Pr <sub>4</sub> NI	243,0	244,0	244,9	4,37	4,76	5,83
Bu <sub>4</sub> NI	309,8	311,8	313,7	3,25	3,35	2,98
Pent <sub>4</sub> NI	377,7	380,1	382,3	4,64	6,09	3,61
Hex <sub>4</sub> NI	445,3	448,9	452,8	6,27	5,33	3,07

## Метанол

## LiCl (298 K) [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
6,90	-4,0	20,66	-3,4	43,10	-2,5
13,78	-3,7	31,89	-2,9	54,3	-2,2
				2882	+6,7

## LiBr [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
288 К		298 К		308 К		323 К	
4,442	4,5	4,23	1,5	4,50	-1,7	2,37	-8,4
8,852	4,8	8,46	1,8	8,99	-1,4	4,73	-7,6
13,24	4,9	12,67	2,1	13,47	-1,2	9,00	-7,2
17,65	5,2	16,89	2,3	17,95	-0,9	13,27	-6,8
34,31	5,5	32,83	2,8	22,43	-0,7	20,29	-6,2
68,35	6,1	65,44	3,4	34,84	-0,2	27,28	-5,6
102,1	6,7	98,01	4,0	69,31	0,7	39,00	-4,9
136,0	7,0	130,5	4,4	103,7	1,5	50,58	-4,3
169,8	7,2	163,0	4,8	138,0	2,0	62,23	-3,9
203,6	7,4	4275	13,8	172,4	2,4	73,83	-3,5
4495	15,2			4495	12,3	2779	+9,2

## LiI [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>	$\bar{m} \cdot 10^3$	Φ <sub>V</sub> ·10 <sup>3</sup>
298 К		308 К		323 К	
2,06	11,2	3,51	8,6	2,08	2,0
4,12	11,4	7,62	8,9	4,19	2,4
7,84	11,8	10,53	9,1	6,28	2,8
11,54	12,1	17,56	9,4	10,07	3,0
15,23	12,2	35,08	10,2	13,84	3,4
18,91	12,3	52,59	10,8	17,60	3,8
22,61	12,4	1971,7	20,1	21,36	4,1
28,7	12,6			27,51	4,6
34,8	12,8			33,67	5,0
44,8	13,1			39,83	5,3
54,9	13,4			50,04	5,7
2508,9	22,4			60,27	6,0
				70,48	6,3
				2508,9	18,3

## NaI [294]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,80664 - 7,424 \cdot 10^{-4}t + 7,103 \cdot 10^{-3}g - 2,37 \cdot 10^{-6}gt - 2,466 \cdot 10^{-6}t^2 - 4,4 \cdot 10^{-7}g^2$$

( $2 < t < 60$  °C;  $0 < g < 0,16$ )

g · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K		
	283	313	333
1,4325	0,8093	0,7833	0,7630
5,5550	0,8385	0,8118	0,7919
14,9922	0,8962	0,8777	0,8576

## NaI [99]

T, K	c	$\epsilon_0$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$	$\mu$	T, K	c	$\epsilon_0$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$	$\mu$
298*	0	33,2	7,3	52	—	274	0	37,3	6,9	85	—
	0,02	31,7	7,4	54	0,180		0,06	33,9	7,0	85	0,347
	0,04	32,2	8,2	55	0,295		0,16	30,8	7,6	88	0,746
	0,10	29,7	7,9	56	0,659		0,33	26,8	8,0	84	1,26
	0,20	27,7	8,7	61	1,16	258	0	41,5	7,7	128	—
	0,50	22,2	8,3	55	2,30		0,06	37,8	7,2	125	0,277
	1,00	16,9	8,3	48	3,63		0,17	33,3	7,5	121	0,588
298	0	33,1	7,2	52	—		0,34	28,7	7,7	116	0,975
	0,02	32,4	7,2	55	0,164	244	0	44,0	7,2	159	—
	0,04	31,6	7,5	55	0,303		0,06	39,1	7,3	152	0,237
	0,06	31,0	8,2	56	0,432		0,17	35,2	7,4	160	0,487
	0,10	30,1	8,7	63	0,665		0,34	29,2	7,6	147	0,844

\* В этих растворах содержание воды по Фишеру составляло  $\approx 0,1\%$ ; все остальные растворы содержали  $\approx 2\%$  воды.

## Галогениды щелочных металлов (298 K) [295]

Соль	c	$\epsilon_0$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$	$\mu$	Соль	c	$\epsilon_0$	$\epsilon_\infty$	$\tau \cdot 10^{12}$	$\mu$
	0,06	30,4	7,8	53	0,377		0,10	29,3	7,7	51	0,542
	0,16	28,1	7,0	61	0,720		0,16	28,0	7,2	54	0,829
	0,32	24,9	8,2	65	1,184	NaI	0	33,3	7,5	60	—
LiI	0	32,8	7,6	55	—		0,06	30,9	7,5	59	0,457
	0,06	29,8	7,6	54	0,418		0,16	28,4	8,7	63	0,988
	0,16	27,5	7,6	60	0,936		0,32	24,9	8,9	62	1,715
	0,32	24,5	7,7	56	1,567	KI	0,06	29,9	7,7	55	0,517
							0,16	28,3	8,1	59	1,102
							0,32	26,0	9,1	62	1,914

## KSCN [65]

m · 10	Свойства растворов при T, K							
	223	233	243	253	263	273	283	293
	$\rho \cdot 10^{-3}$							
0,482	0,8604	0,8509	0,8419	0,8321	0,8217	0,8123	0,8031	0,7938
1,11	0,8628	0,8535	0,8441	0,8346	0,8252	0,8161	0,8068	0,7979
3,29	0,8742	0,8643	0,8549	0,8457	0,8367	0,8276	0,8183	0,8091
4,98	0,8823	0,8730	0,8637	0,8545	0,8458	0,8367	0,8287	0,8196
7,77	0,8966	0,8872	0,8780	0,8690	0,8596	0,8507	0,8417	0,8325
10,7	0,9098	0,9006	0,8914	0,8826	0,8738	0,8647	0,8557	0,8468
16,0	0,9342	0,9251	0,9160	0,9070	0,8978	0,8890	0,8801	0,8712
21,8	—	0,9484	0,9394	0,9306	0,9237	0,9149	0,9060	0,8973
	$\eta \cdot 10^3$							
0,482	2,24	1,75	1,41	1,15	0,948	0,808	0,692	0,597
1,11	2,32	1,81	1,45	1,18	0,978	0,833	0,711	0,614
3,29	2,64	2,04	1,62	1,31	1,09	0,913	0,773	0,670
4,98	2,87	2,20	1,74	1,40	1,15	0,974	0,819	0,704
7,77	3,29	2,48	1,94	1,55	1,26	1,05	0,899	0,764
10,7	3,73	2,77	2,14	1,70	1,38	1,14	0,961	0,815
16,0	4,68	3,38	2,55	1,99	1,60	1,32	1,09	0,925
21,8	—	4,14	3,07	2,35	1,86	1,51	1,25	1,05
	$\lambda \cdot 10$							
0,482	20,9	26,7	33,0	40,2	48,3	56,2	65,1	74,8
1,11	18,7	23,9	29,6	35,9	43,2	50,1	57,9	66,3
3,29	15,0	19,3	24,2	29,5	35,3	41,5	48,2	55,2
4,98	13,4	17,3	21,3	26,7	32,1	37,8	44,0	50,6
7,77	11,4	14,9	18,9	23,4	28,3	33,3	39,3	45,4
10,7	9,93	13,2	16,8	21,0	25,6	30,5	35,8	41,5
16,0	7,93	10,8	14,0	17,7	21,8	26,2	31,0	36,1
21,8	6,38	8,91	11,8	15,1	18,8	22,8	27,1	31,8

SbCl<sub>3</sub> [296]

X · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K		$\eta \cdot 10^3$ при T, K		$\mu \cdot 10$ при T, K		
	298	323	298	323	273	298	323
0,00	0,787	0,764	0,55	0,38	0,00	—	—
9,96	1,213	1,182	1,42	0,87	10,34	3,81	6,77
19,75	1,559	1,522	3,31	1,70	21,72	3,69	7,21
29,46	1,834	1,792	6,94	3,00	29,95	2,49	6,14
39,61	2,066	2,020	12,25	4,60	47,38	1,66	5,82
48,75	2,238	2,191	16,41	5,76	60,40	1,66	5,53
58,44	2,390	2,338	18,69	6,28	67,60	1,51	5,10
69,46	2,529	2,478	—	—	72,14	1,44	4,74
73,55	2,574	2,520	16,46	5,93	83,20	—	3,36
100,0	2,794	2,736	8,92	3,94	100,0	—	—

Этанол

LiCl (298 K) [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
1,96	-11,3	11,0	-8,6	31,03	-6,6
3,92	-10,5	16,52	-7,9	2299,8	6,7
7,48	-9,3	22,03	-7,5		

LiCl (298 K) [297]

c	x	c	x	c	x
0,0146	0,035	0,267	0,268	0,710	0,433
0,0985	0,141	0,340	0,311	1,127	0,493
0,133	0,170	0,551	0,397	1,281	0,501
0,180	0,212	0,706	0,437	1,315	0,503

LiBr, LiI [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
при 298 K				при 323 K			

LiBr

2,85	-4,7	65,52	0,4	1,67	-16,8	13,54	-12,4
5,68	-4,2	87,3	1,1	3,34	-15,5	17,10	-11,8
8,51	-3,8	109	1,7	5,01	-14,8	20,65	-11,3
11,36	-3,4	130,6	2,2	6,66	-14,3	25,54	-10,7
21,90	-2,1	2828,7	12,7	8,33	-13,7	30,44	-10,2
45,77	-0,7			9,99	-13,3	1946,3	7,9

LiI

2,74	4,7	41,86	8,5	1,597	-6,6	20,00	-1,4
5,48	5,5	62,63	9,3	3,189	-5,2	24,68	-0,9
8,21	5,8	83,40	9,9	4,78	-4,7	29,35	-0,3
10,94	6,2	104,22	10,3	6,37	-4,1	34,01	0,2
13,67	6,5	2774	22,1	9,789	-2,9	38,67	0,6
20,91	7,3			13,19	-2,3	1889,1	17,3
				16,60	-1,8		

LiNO<sub>3</sub> (298 K) [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
2,01	0,1	16,89	4,4	3,23	17,0	14,95	18,3
4,00	1,1	22,52	5,1	6,46	17,4	20,22	18,6
7,63	2,5	28,15	5,6	9,68	18,0	1386,8	29,0
11,24	3,4	2408,5	20,8				

NaI (298 K) [279]

NaI [294]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,80577 - 7,409 \cdot 10^{-4} t + 5,992 \cdot 10^{-3} g - 9,21 \cdot 10^{-6} gt - 2,048 \cdot 10^{-6} t^2 + 8,18 \cdot 10^{-5} g^2$$

( $2 < t < 60$  °C;  $0 < g < 0,16$ )

g · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K		
	283	313	333
1,4928	0,8074	0,7812	0,7621
5,7233	0,8348	0,8079	0,7879
15,2989	0,9073	0,8783	0,8560

SbCl<sub>3</sub> [296]

X · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K		$\eta \cdot 10^6$ при T, K		X · 100	$\kappa \cdot 10$ при T, K		
	298	323	293	323		273	298	323
0,00	0,785	0,764	1,09	0,67	0,00	—	—	—
9,86	1,088	1,059	2,02	1,12	9,84	2,32	4,15	6,26
19,55	1,358	1,325	3,56	1,80	19,94	4,15	6,91	11,06
28,86	1,595	1,557	6,18	2,79	30,22	3,53	7,21	12,29
39,94	1,850	1,808	10,75	4,31	39,02	3,02	6,91	12,29
51,68	2,087	2,047	14,56	5,43	49,75	2,37	6,44	11,85
59,19	2,224	2,173	16,10	5,86	59,59	1,84	5,72	10,70
68,47	2,378	2,326	16,15	5,90	68,28	1,75	5,03	9,22
100,0	2,794	2,736	8,92	3,94	83,18	—	3,22	5,93
					100,0	—	—	—

n-Пропанол

NaI [294]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 0,81894 - 7,325 \cdot 10^{-4} t + 5,976 \cdot 10^{-3} g - 1,20 \cdot 10^{-6} gt - 1,3 \cdot 10^{-6} t^2 + 2,93 \cdot 10^{-5} g^2$$

( $2 < t < 60$  °C;  $0 < g < 0,16$ )

g · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K		
	283	313	333
1,1212	0,8180	0,8026	0,7771
3,7661	0,8341	0,8186	0,7932
12,9279	0,8933	0,8775	0,8516

SbCl<sub>3</sub> [296]

X · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^6$ при T, K			$\kappa \cdot 10$ при T, K			
	298	323	348	298	323	348	273	298	323	348
0,00	0,7996	0,730	0,753	1,99	1,03	0,63	—	—	—	—
9,82	1,032	1,008	0,930	3,14	1,61	0,92	0,90	1,84	3,32	4,15
19,75	1,265	1,234	1,204	5,12	2,38	1,31	1,55	3,29	5,80	8,30
29,27	1,477	1,443	1,409	8,46	3,54	1,84	1,69	3,60	6,35	9,40
40,57	1,710	1,672	1,634	13,25	5,02	2,48	1,40	3,69	6,63	10,07

Продолжение

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 <sup>2</sup> при T, К			
	298	323	348	298	323	348	273	298	323	348
50,02	1,916	1,871	1,832	17,11	6,17	2,90	1,14	3,73	6,90	10,37
59,22	2,096	2,051	2,005	18,71	6,53	3,16	1,21	4,02	7,30	10,92
66,74	2,236	2,189	2,142	17,95	6,48	3,25	1,28	4,25	7,82	12,10
69,60	2,291	2,242	2,195	17,50	6,30	3,13	1,23	4,21	7,90	12,31
79,92	—	—	—	—	—	—	—	—	6,91	10,05
100,0	2,794	2,736	2,681	8,92	3,94	2,31	—	—	—	—

## изо-Пропанол

SbCl<sub>3</sub> [298]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 при T, К				ε <sub>298</sub>
	298	323	348	298	323	348	273	298	323	348	
0,00	0,781	0,759	0,734	2,035	1,004	0,553	—	—	—	—	18,3
9,82	1,016	0,994	0,956	2,989	1,436	0,786	1,00	2,28	3,63	4,65	19,0
19,82	1,245	1,214	1,180	4,949	2,253	1,207	1,49	3,23	5,54	7,75	21,0
29,77	1,471	1,433	1,399	7,951	3,317	1,716	1,40	3,42	6,12	9,30	23,0
39,58	1,684	1,640	1,606	12,26	4,631	2,275	1,20	3,52	6,46	9,66	24,8
49,58	1,892	1,849	1,807	17,31	6,216	3,009	1,09	3,75	7,25	10,6	27,0
59,80	2,107	2,060	2,017	19,49	6,870	3,419	1,11	4,23	8,30	13,0	28,3
67,38	2,263	2,211	2,161	20,38	7,263	3,599	—	4,65	9,69	15,5	29,4
70,13	2,312	2,261	2,210	19,84	7,080	3,660	1,14	5,28	10,6	16,6	30,0
77,90	—	2,402	2,350	—	6,448	3,370	—	—	—	—	—
79,05	—	—	—	—	—	—	—	5,54	8,94	13,0	—

## н-Бутанол

Bu<sub>4</sub>NPi (364 К) [179]

g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>
0,00	0,758	6,09	61,47	0,949	37,0	93,36	1,076	268
11,39	0,790	8,11	75,23	1,014	74,3	97,72	1,093	403
25,14	0,838	11,5	86,41	1,050	146,3	100,00	1,105	581
41,29	0,894	19,33	—	—	—	—	—	—

g·100	c	κ·10	λ·10	λη·10 <sup>4</sup>	g·100	c	κ·10	λ·10	λη·10 <sup>4</sup>
0,00	0,000	0	71,5	435	39,81	0,751	7,518	10,00	175
0,50	0,008	0,162	20,08	127	49,69	0,975	8,680	8,90	217
2,09	0,034	0,501	14,77	94,7	60,31	1,230	9,007	7,32	252
5,04	0,083	1,078	13,03	92,1	69,70	1,471	8,453	5,75	314
9,11	0,152	1,892	12,50	95,0	80,75	1,773	6,622	3,74	366
19,39	0,334	3,914	11,71	114,6	89,42	2,022	4,357	2,15	400
29,60	0,538	5,917	10,99	143	96,26	2,226	2,721	1,22	427
					100	2,342	1,821	0,778	452

c·10 <sup>4</sup>	λ·10	κ·10	λ·10	λη·10 <sup>4</sup>
1,145	56,61	2,351	42,84	4,801
9,768	35,85	19,78	29,47	19,78
40,00	24,07	80,72	19,81	80,72

SbCl<sub>3</sub> [296]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 при T, К			
	298	323	348	298	323	348	273	298	323	348
0,00	0,806	0,786	0,763	2,56	1,36	0,70	—	—	—	—
10,07	1,001	0,977	0,954	3,82	1,90	1,07	0,42	0,88	1,50	2,12
20,29	1,204	1,177	1,149	5,99	2,75	1,48	0,75	1,69	2,85	4,35
30,23	1,411	1,380	1,347	9,47	3,95	2,01	0,83	2,03	3,65	5,71
40,72	1,620	1,585	1,549	13,98	5,30	2,61	0,80	2,17	3,97	6,09
49,64	1,794	1,756	1,719	17,21	6,24	3,00	0,78	2,37	4,37	6,52
59,34	1,992	1,947	1,905	18,53	6,60	3,19	0,80	2,61	4,81	7,03
66,26	2,128	2,083	2,040	18,03	6,50	3,21	0,88	2,86	5,37	7,61
72,02	2,247	2,200	2,153	17,38	6,37	3,15	0,96	3,04	5,71	7,61
79,48	2,397	2,342	2,295	—	5,81	3,00	—	3,04	5,22	7,03

## изо-Бутанол

SbCl<sub>3</sub> [299]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
0,00	0,798	0,778	0,757	3,26	1,51	0,78	—	—	—
10,05	0,992	0,968	0,945	4,81	2,12	1,09	0,68	1,16	1,72
18,13	1,151	1,124	1,096	6,86	2,86	1,45	1,16	2,08	2,82
30,29	1,396	1,363	1,331	12,84	4,64	2,18	1,53	3,04	4,65
40,02	1,593	1,557	1,521	19,03	6,17	2,81	1,79	4,39	6,59
50,51	1,784	1,745	1,705	22,42	6,01	3,24	1,98	4,60	6,94
55,12	1,894	1,856	1,816	24,82	7,92	3,44	2,16	4,49	6,94
60,54	2,009	1,965	1,922	23,79	7,54	3,30	2,08	4,39	6,94
67,35	—	2,101	2,054	—	—	—	—	4,08	6,76

## н-Пентанол

SbCl<sub>3</sub> [296]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, К			η·10 <sup>3</sup> при T, К			κ·10 при T, К			
	298	323	348	298	323	348	273	298	323	348
0,00	0,811	0,792	0,773	3,44	1,73	0,98	—	—	—	—
9,06	0,974	0,941	0,929	4,95	2,38	1,33	0,20	0,43	0,81	1,14
19,94	1,148	1,121	1,096	7,37	3,25	1,75	0,41	0,98	1,76	2,61
29,78	1,326	1,297	1,267	11,10	4,47	2,29	0,53	1,32	2,47	3,97
40,10	1,520	1,487	1,453	15,82	5,86	2,88	—	1,55	3,15	4,81
49,48	1,704	1,667	1,630	19,58	7,01	3,37	0,52	1,76	3,65	5,71
59,58	1,908	1,867	1,827	20,24	7,12	3,43	0,63	2,17	4,35	6,52
69,92	2,123	2,078	2,033	18,82	6,90	3,37	0,77	2,61	5,07	7,03
80,07	—	—	—	—	—	—	—	2,81	5,22	6,77

изо-Пентанол

SbCl<sub>3</sub> [299]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, K			η·10 <sup>6</sup> при T, K			κ·10 при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
0,00	0,808	0,790	0,769	3,96	1,80	0,93	—	—	—
10,07	0,974	0,951	0,928	5,45	2,42	1,26	0,39	0,67	1,01
19,86	1,144	1,118	1,091	8,08	3,37	1,72	0,83	1,52	2,28
23,01	1,199	1,172	1,146	9,33	3,80	1,86	0,91	1,83	2,69
37,80	1,474	1,443	1,409	16,65	6,17	2,87	1,36	2,63	3,95
49,66	1,707	1,670	1,634	22,12	7,36	3,37	1,64	3,60	5,86
60,49	1,914	1,874	1,832	23,54	7,72	3,56	2,08	4,30	6,70
67,17	2,050	2,007	1,963	20,60	7,30	3,42	2,47	4,64	7,22
80,90	—	—	—	—	—	—	—	5,50	8,07

Этиленгликоль

KI, CsI (298 K) [300]

c	η/η <sub>0</sub>	c	η/η <sub>0</sub>	c	η/η <sub>0</sub>
KI					
0,0714	1,0086	0,2526	1,0214	0,5912	1,0389
0,1361	1,0145	0,2883	1,0235	0,8267	1,0513
0,2006	1,0184	0,4415	1,0319	0,9156	1,0553
0,2223	1,0202	0,4804	1,0340	—	—
CsI					
0,0931	1,0012	0,2164	0,9949	0,4780	0,9777
0,1468	0,9969	0,3691	0,9815	0,5766	0,9715

изо-PentNBF<sub>4</sub> (387,8 K) [301]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	X·100	κ·10
97,55	—	115,6	97,062	1,106
97,63	—	115,2	98,022	1,062
98,80	—	121,8	99,001	1,028
100,00	0,9311	126,8	100,000	0,991

Глицерин

KI, CsI (298 K) [300]

c	η/η <sub>0</sub>	c	η/η <sub>0</sub>	c	η/η <sub>0</sub>	c	η/η <sub>0</sub>
KI							
0,0653	0,9994	0,2326	0,9786	0,4747	0,9455	0,7771	0,9080
0,1695	0,9862	0,3455	0,9615	0,6150	0,9288	—	—
CsI							
0,0831	0,9752	0,2402	0,9298	0,4656	0,8601	—	—
0,1586	0,9536	0,3464	0,8990	0,5885	0,8242	—	—

Метиленхлорид

Дихлорэтан

Четвертичные аммониевые соли (295 K) [281]

c	κ растворов солей			κ растворов солей		
	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,01520	0,01508	0,01445	0,01520	0,01495	0,01441
0,05	0,06579	0,06494	0,06369	—	0,06410	0,06329
0,10	—	0,1385	0,138	—	—	0,116
0,50	—	—	0,433	—	—	0,400
1,00	—	—	0,641	—	—	0,465

Хлороформ

Bu<sub>4</sub>NBr [291]

X·100	η·10 <sup>3</sup> при T, K						
	293	303	313	323	333	343	353
0	0,562	0,512	0,466	0,426	0,390	—	—
0,93	0,813	0,762	0,733	0,613	0,569	—	—
6,07	1,700	1,450	1,230	1,080	0,955	0,851	0,776
8,17	—	3,300	2,720	2,240	1,950	1,670	1,450
13,50	—	—	5,500	4,160	3,330	2,740	2,240
	333	343	353	363	373	383	393
22,0	12,6	9,41	7,21	5,95	4,68	3,98	3,35
30,0	—	25,10	17,60	13,40	10,20	7,85	6,42
42,0	—	—	54,30	35,00	25,20	18,30	13,70
56,8	—	—	—	71,40	49,00	34,60	26,50
72,0	—	—	—	—	119,50	73,10	47,40
100	—	—	—	—	—	—	89,60
X·100	κ при T, K						
	293	303	313	323	333	343	353
0,93	0,331	0,350	0,371	0,389	0,421	—	—
5,08	1,940	2,130	2,370	2,630	2,850	3,08	3,32
6,07	2,030	2,300	2,560	2,850	3,140	3,43	3,76
8,17	—	2,600	2,960	3,310	3,670	4,02	4,37
13,15	—	—	2,340	2,940	3,440	4,03	4,52
	333	343	353	363	373	383	393
22,0	2,19	2,80	3,43	4,08	4,95	5,37	6,17
30,0	—	1,66	2,28	2,92	3,54	4,16	4,89
42,0	—	—	1,29	1,85	2,46	3,22	3,98
56,8	—	—	—	1,21	1,75	2,26	2,69
72,0	—	—	—	—	0,966	1,39	1,94
100	—	—	—	—	—	—	1,46

Бензол

n-Вu<sub>4</sub>NCSN (298 K) [302]

c	0,6305	0,7462	1,015	1,300	1,609	1,710	1,865
η·10 <sup>3</sup>	2,101	2,451	3,634	6,203	11,20	1,865	19,15

n-Ксилол

n-Pent<sub>4</sub>NCSN (323 K) [302]

c·10 <sup>3</sup>	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10 <sup>4</sup>	c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10 <sup>2</sup>
0,07971	—	—	2,43	0,1173	0,8373	0,666	5,894
0,1782	—	—	3,061	0,2358	0,8412	0,905	11,62
0,3602	—	—	3,931	0,5780	0,8526	1,946	30,59
0,7623	—	—	4,883	0,8329	0,8608	3,017	46,12
0,8935	—	—	5,107	0,9678	0,8651	3,781	53,81
1,254	0,8331	0,454	5,640	1,238	0,8737	6,387	64,31
2,016	0,8332	0,456	6,587	1,374	0,8773	8,247	69,45
4,466	0,8332	0,461	8,399	1,555	0,8828	13,37	67,48
6,053	0,8332	0,463	10,12	2,095	0,8961	59,36	37,64
8,548	0,8333	0,468	13,46	2,245	0,8988	99,23	27,18
10,12	0,8334	0,470	15,95	2,370	0,9008	162,3	20,02
17,78	0,8336	0,484	31,98	2,447	0,9019	221,2	16,14
38,58	0,8344	0,521	139,4	2,498	0,9027	279,1	13,77
66,22	0,8354	0,572	317,1	2,532	0,9030	323,4	12,29
93,30	0,8364	0,622	468,7				

n-Pent<sub>4</sub>NCSN (363 K) [303]

c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10 <sup>2</sup>	c	ρ·10 <sup>-3</sup>	η·10 <sup>3</sup>	λ·10 <sup>2</sup>	c·10 <sup>4</sup>	λ·10 <sup>4</sup>
2,474	0,8825	54,46	68,15	1,712	0,8620	7,405	163,9	77,97	46,20
2,461	0,8823	52,10	70,20	1,461	0,8541	4,535	170,6	42,08	30,94
2,443	0,8819	49,04	72,94	1,212	0,8457	2,940	153,8	17,58	20,18
2,422	0,8813	45,99	75,59	0,8385	0,8327	1,781	108,2	9,790	14,07
2,390	0,8805	41,60	80,10	0,6464	0,8253	1,323	65,99	7,281	14,17
2,367	0,8799	38,68	83,90	0,4684	0,8181	0,923	46,62	3,345	9,979
2,331	0,8790	34,86	88,67	0,3127	0,8124	0,754	36,38	2,046	9,052
2,267	0,8772	29,22	98,03	0,1449	0,8054	0,517	21,15	1,263	6,580
2,235	0,8765	26,28	104,0	0,07464	0,8024	0,445	8,608	1,006	6,28
2,132	0,8738	19,87	118,5	0,03969	0,8008	0,391	3,769	0,815	5,09
2,074	0,8723	17,16	127,0	0,01943	0,8001	0,351	1,240	0,546	4,67
1,934	0,8684	12,10	145,7	0,009920	—	—	0,5602	—	—

n-Pent<sub>4</sub>HNPI (363 K) [65]

g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>
0	0,7978	58,46	0,9527	71,72	0,9925	86,70	1,0391
42,40	0,9067	61,91	0,9626	77,11	1,0093	91,19	1,0532
50,54	0,9296	62,76	0,9654	79,94	1,0172	95,70	1,0668
55,38	0,9435	68,51	0,9830	85,28	1,0344	100,00	1,0801

c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>
0	0,3216	1,454	2,992	1,922	8,995	2,247	22,00
0,8431	0,9903	1,577	3,729	2,009	10,94	2,276	23,95
0,9346	1,249	1,742	5,766	2,092	13,92	2,297	25,47
1,005	1,300	1,824	6,862	2,124	15,16	2,335	28,94
1,163	1,701	1,854	7,412	2,204	19,09	2,366	32,01
1,380	2,569					(чистая соль)	

n-Pent<sub>4</sub>NPI (363 K) [65]

g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>
0	0,7978	68,75	0,9700	78,46	0,9978	95,32	1,0412
51,77	0,9254	72,03	0,9799	85,13	1,0153	96,12	1,0432
56,08	0,9379	77,67	0,9963	88,14	1,0224	100,00	1,0530
62,42	0,9540						

c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>	c	η·10 <sup>3</sup>
0	0,3216	1,210	4,078	1,588	11,51	1,896	33,44
0,9625	2,495	1,386	6,475	1,674	15,51	1,966	42,57
0,9978	2,518	1,408	6,967	1,729	18,24	1,999	49,04
1,150	3,584	1,535	9,947	1,812	24,12	(чистая соль)	

Ди-изо-пропилбензол

(изо-Pent)<sub>4</sub>NBF<sub>4</sub> (387,8 K) [301]

X·100	η·10 <sup>3</sup>	X·100	η·10	λ·10	ρ·10 <sup>-3</sup>
95,83	104,3	94,085	1,067	0,456	—
97,18	111,5	95,977	1,044	0,441	—
98,57	118,8	97,947	1,020	0,427	—
100,00	127,2	100,00	0,994	0,411	0,9311

m-Дихлорбензол

(n-Pent)<sub>4</sub>NCSN (363 K) [65]

g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>	g·100	ρ·10 <sup>-3</sup>
0	1,2074	74,08	0,9514	89,89	0,9084
41,32	1,0525	74,25	0,9510	90,34	0,9078
48,89	1,0276	79,01	0,9382	95,52	0,8946
58,25	0,9974	79,54	0,9358	96,26	0,8921
62,74	0,9851	84,76	0,9224	100,00	0,8832
67,64	0,9703	85,55	0,9198		



g·100	$\eta \cdot 10^3$	g·100	$\eta \cdot 10^3$	g·100	$\eta \cdot 10^3$
0	0,5247	68,97	11,45	92,31	36,74
39,69	3,076	71,53	12,66	93,67	38,85
46,11	4,042	74,42	14,78	95,60	43,18
50,26	4,833	74,91	15,53	96,19	44,17
51,50	5,059	81,49	21,53	97,67	47,98
56,60	6,325	84,91	25,45	98,71	50,16
61,46	7,914	88,08	29,81	99,17	51,42
65,96	9,775	89,92	32,80	100,00	54,00

## Нитрометан

Четвертичные аммониевые соли (295 K) [281]

c	κ растворов солей			
	Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Pr <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>
0,01	0,173	0,1675	0,164	0,1385
0,05	0,581	0,529	0,515	0,481
0,10	—	0,840	0,800	0,758 (0,781)
0,50	—	2,00	1,80	1,80 (2,56)
1,00	—	2,58	—	2,25

Bu<sub>4</sub>NBr [287]

X·100	$\eta \cdot 10^3$ при T, K						
	293	303	313	323	333	343	353
0	0,617	0,595	0,532	0,484	0,435	0,401	0,369
1,97	0,878	0,766	0,679	0,617	0,541	0,501	0,462
5,90	1,58	1,26	1,08	0,944	0,851	0,746	0,679
10,4	2,75	2,23	1,86	1,58	1,35	1,17	1,03
16,9	7,21	5,42	4,24	3,37	2,79	2,29	1,88
21,7	14,1	9,83	7,20	5,52	4,33	3,43	2,69
	333	343	353	363	373	383	393
33,8	20,3	12,6	9,18	7,51	5,89	4,84	4,00
49,1	—	45,7	32,8	23,3	17,6	13,6	10,7
58,5	—	—	—	45,2	31,3	23,0	17,3
75,1	—	—	—	—	70,4	48,0	34,5
79,5	—	—	—	—	—	68,3	42,5
100	—	—	—	—	—	—	88,6
	κ при T, K						
X·100	293	303	313	323	333	343	353
1,97	1,04	1,12	1,21	1,28	1,36	1,46	1,50
5,90	1,29	1,42	1,54	1,66	1,78	1,90	1,99
10,4	1,07	1,23	1,38	1,53	1,69	1,83	1,95
16,9	0,621	0,757	0,903	1,05	1,20	1,34	1,58
21,7	0,417	0,545	0,693	0,849	1,01	1,16	1,40

X·100	333	343	353	363	373	383	393
33,8	0,434	0,582	0,747	0,871	1,02	1,20	1,33
49,1	—	0,219	0,296	0,397	0,499	0,609	0,741
58,5	—	—	—	0,245	0,327	0,431	0,565
75,1	—	—	—	—	0,173	0,245	0,325
79,9	—	—	—	—	—	0,194	0,274
100	—	—	—	—	—	—	0,144

## Нитробензол

Bu<sub>4</sub>NPi (364,15±0,05 K) [178]

c	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$	c	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$	$\rho \cdot 10^{-3}$
0,10	0,852	31,0	26,4	2,00	17,1	2,13	35,8	—
0,50	1,26	17,5	22,1	2,20	32,2	1,26	40,5	—
1,00	2,36	10,1	23,8	2,34	57,0	0,775	44,1	1,105
1,50	5,32	5,35	28,6	(чистая соль)	—	—	—	—

n-Pent<sub>4</sub>NCSN (298 K) [304] $\rho \cdot 10^{-3} = 1,1974 - 0,1058 c - 0,002163 c^{3/2}$ 

c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$	c	$\eta \cdot 10^3$
0	1,8541	1,4167	16,887	0,030618	1,8891	0,99731	6,7478
0,17014	1,9811	1,5276	21,638	0,18036	2,0635	1,0891	7,8225
0,35003	2,4853	1,7115	34,310	0,25903	2,2506	1,2214	10,533
0,60783	3,5195	1,7592	38,278	0,40684	2,5164	1,3275	13,008
0,86255	5,5102	1,7861	42,329	0,50815	3,0022	1,4622	18,002
0,94440	6,3006	1,8334	49,937	0,70653	4,0193	1,6326	27,139
1,2603	11,844	—	—	0,78660	4,6111	1,8513	53,241
				0,89012	5,5950	—	—

c·10 <sup>4</sup>	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$	c·10 <sup>2</sup>	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$	c	$\lambda \cdot 10$	$\lambda \eta \cdot 10^4$
0	33,24	61,63	8,8021	14,57	29,15	0,81586	3,296	16,25
0,68394	32,643	60,39	9,1349	14,391	28,78	0,85765	3,082	16,37
1,9099	32,200	59,57	10,167	13,82	28,06	0,90104	2,844	16,27
4,0663	31,517	58,31	11,447	13,21	27,08	0,90540	2,834	16,35
6,8375	30,742	56,87	13,386	12,39	25,76	0,95414	2,602	16,29
12,525	29,821	55,17	15,564	11,61	24,61	0,97773	2,482	16,25
28,720	28,300	52,35	18,057	10,84	23,51	1,0027	2,370	16,31
37,258	27,604	51,07	21,093	10,04	22,28	1,0490	2,228	16,31
56,960	26,292	48,90	25,755	9,013	20,64	1,0890	2,083	16,31
81,622	25,032	46,56	26,483	8,865	20,48	1,1090	2,001	16,39
117,26	23,612	44,15	30,916	8,084	19,16	1,1531	1,801	16,14

## Продолжение

$c \cdot 10^4$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda\eta \cdot 10^4$	$c \cdot 10^2$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda\eta \cdot 10^4$	$c$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda\eta \cdot 10^4$
138,03	22,801	42,64	31,380	8,031	19,9	1,2109	1,611	16,45
153,21	22,455	41,99	38,084	7,030	17,65	1,2338	1,533	16,48
203,44	21,143	39,54	38,206	6,999	17,71	1,2615	1,458	16,62
261,03	19,946	37,50	44,501	6,254	16,88	1,3395	1,241	16,65
263,73	19,715	37,06	46,947	5,969	16,77	1,3718	1,154	16,66
298,10	19,284	36,25	51,424	5,535	16,83	1,4145	1,046	16,90
346,79	18,508	34,98	57,091	4,983	16,59	1,5187	0,8248	17,24
347,34	18,403	34,78	59,312	4,836	16,44	1,5406	0,7876	17,30
411,56	17,640	33,69	64,673	4,401	16,55	1,6750	0,5816	17,80
431,43	17,369	33,52	68,582	4,118	16,27	1,6826	0,5661	17,80
536,08	16,389	31,96	69,592	4,061	16,32	1,8010	0,4084	18,26
691,29	15,40	30,34	74,045	3,755	16,15	1,8275	0,3751	18,41
748,77	15,04	29,79	78,049	3,509	16,28			

 $n\text{-Pent}_4\text{NSCN}$  (325 K) [180]

$$\rho \cdot 10^{-3} = 1,1721 - 3,2788 \cdot 10^{-1} g + 5,2049 \cdot 10^2 \cdot g^2$$

$$\ln \eta = X_1 \ln \eta_1 + X_2 \ln \eta_2 + 2,19089 \ln \eta_1 \ln \eta_2 \quad (\eta \text{ в снз})$$

$c$	$\eta \cdot 10^3$	$c$	$\eta \cdot 10^3$	$c$	$\eta \cdot 10^3$	$c$	$\eta \cdot 10^3$
0,8335	3,132	1,678	17,38	2,228	92,09	2,483	288,3
1,024	4,316	1,83	22,66	2,313	129,9	2,531	339,2
1,113	5,029	2,11	55,66	2,441	179,3	2,532	322
1,429	9,205	2,22	83,40			(чистая соль)	

$c \cdot 10^2$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda\eta \cdot 10^4$	$c$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda\eta \cdot 10^4$	$c$	$\lambda \cdot 10$	$\lambda\eta \cdot 10^4$
0,5410	42,24	51,56	0,5412	8,378	17,38	1,807	1,056	22,07
0,9166	39,02	47,78	0,6305	7,360	16,95	1,841	1,005	23,23
1,418	35,81	44,04	0,7309	6,370	16,63	1,903	0,8460	23,67
1,586	35,38	43,57	0,8736	5,184	16,40	1,905	0,8459	23,82
1,790	34,02	41,97	0,9857	4,423	16,49	1,981	0,7009	25,22
2,956	30,63	38,17	1,085	3,808	16,60	1,993	0,6835	25,62
3,003	29,82	37,22	1,190	3,246	16,86	2,072	0,5558	27,55
3,978	27,29	34,31	1,347	2,521	17,56	2,132	0,4673	29,09
5,123	26,28	33,37	1,380	2,386	17,76	2,152	0,4681	31,46
6,666	23,89	30,75	1,429	2,191	18,03	2,356	0,2296	36,81
10,36	18,44	24,53	1,500	1,733	19,11	2,371	0,2165	37,31
22,23	14,41	21,40	1,584	1,656	19,29	2,417	0,1826	39,05
29,42	12,52	19,94	1,689	1,348	20,41	2,513	0,1235	41,89
36,74	11,00	18,88	1,763	1,156	21,35	2,513	0,1236	41,93
42,60	9,993	18,24				(чистая соль)		

SbCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> [245]

X · 100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^3$ при T, K			$\kappa \cdot 10^2$ при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
SbCl <sub>3</sub>									
0,00	1,1995	1,1740	1,1490	1,857	1,237	0,874	—	—	—
7,09	1,291	1,265	1,238	2,24	1,43	0,97	0,30	0,41	0,50
13,57	1,378	1,349	1,319	2,72	1,66	1,09	0,33	0,45	0,56
19,10	1,455	1,424	1,394	3,24	1,86	1,22	0,28	0,39	0,48
26,39	1,558	1,525	1,492	4,01	2,18	1,39	0,24	0,34	0,43
38,15	1,730	1,694	1,657	5,70	2,80	1,66	0,23	0,33	0,42
47,34	1,872	1,832	1,793	7,13	2,26	1,88	0,30	0,49	0,63
59,35	2,065	2,019	1,976	8,97	3,87	2,26	0,58	1,03	1,34
70,98	2,261	2,212	2,163	9,76	4,26	2,38	1,27	2,41	3,39
79,74	2,413	2,363	2,313	9,35	4,22	2,35	1,43	2,57	3,70
89,95	2,586	2,530	2,476	—	4,14	2,34	—	2,29	3,15
100,0	2,794	2,736	2,681	8,92	3,94	2,31	—	—	—
FeCl <sub>3</sub>									
5,02	1,221	1,195	1,167	2,342	1,425	1,027	0,805	0,931	1,018
7,06	1,254	1,227	1,200	2,554	1,574	1,143	1,097	1,274	1,414
9,39	1,271	1,243	1,218	2,945	1,765	1,269	1,270	1,721	2,012
13,17	1,302	1,275	1,247	3,594	2,070	1,431	1,507	2,023	2,511
16,79	1,331	1,303	1,276	4,718	2,517	1,650	1,695	2,507	3,328
20,84	—	1,327	1,299	—	3,036	1,861	—	2,55	3,60
24,33	—	1,365	1,339	—	3,961	2,329	—	2,61	3,85
30,14	—	1,412	1,384	—	5,545	2,974	—	2,52	4,08
34,70	—	1,452	1,425	—	8,170	4,060	—	2,44	4,20
38,40	1,500	1,472	1,445	—	10,59	4,978	1,01	2,33	4,35
44,30	1,540	1,512	1,484	—	17,55	4,515	0,61	2,16	4,22

## Диэтиловый эфир

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [55]

X · 100	Свойства при T, K							
	243	253	263	273	283	293	298	303
$\rho \cdot 10^{-3}$								
0,104	0,8599	0,8488	0,8391	0,8281	0,8172	0,8060	0,8004	0,7941
0,213	0,9586	0,9485	0,9381	0,9285	0,9184	0,9083	0,9037	0,8987
0,292	1,0344	1,0248	1,0152	1,0055	1,001	0,9856	0,9806	0,9765
0,360	1,1078	1,0983	1,0886	1,0791	1,0696	1,0597	1,0551	1,0505
0,402	1,1500	1,403	1,1316	1,1220	1,1132	1,1030	1,0989	1,0947
0,450	1,2015	1,1927	1,1831	1,1741	1,1652	1,1553	1,1511	1,1467
0,491	1,2438	1,2349	1,2260	1,2172	1,2083	1,1994	1,1950	1,1905
0,555	1,3228	1,3135	1,3046	1,2956	1,2866	1,2775	1,2731	1,2685
0,599	1,3677	1,3583	1,3495	1,3408	1,3321	1,3234	1,3194	1,3150
0,666	1,4437	1,4347	1,4258	1,4169	1,4096	1,3992	1,3947	1,3907
0,703	1,4868	1,4779	1,4696	1,4609	1,4513	1,4421	1,4379	1,4240
0,750	1,5455	1,5358	1,5263	1,5169	1,5083	1,4985	1,4942	1,4894

X·100	Свойства при T, К							
	243	253	263	273	283	293	298	303
0,789	1,5943	1,5843	1,5748	1,5655	1,5563	1,5467	1,5422	1,5377
0,857	1,6806	1,6707	1,6603	1,6506	1,6421	1,6320	1,6268	1,6222
0,891	1,7698	1,7435	1,7096	1,6959	1,6867	1,6759	1,6706	1,6654
0,946	—	—	1,7832	1,7720	1,7613	1,7519	1,7477	1,7429
1,000	—	—	—	—	1,8416	1,8318	1,8267	1,8212

 $\eta \cdot 10^3$ 

0,104	0,795	0,687	0,608	0,543	0,489	0,434	0,414	0,394
0,213	1,94	1,59	1,33	1,15	1,05	0,925	0,870	0,823
0,292	4,95	3,79	3,05	2,49	2,11	1,79	1,69	1,60
0,360	15,0	10,9	8,06	6,23	5,07	4,19	3,84	3,46
0,402	30,2	20,7	14,9	11,1	8,65	6,95	6,20	5,62
0,450	62,7	41,4	28,7	20,5	15,4	11,8	10,5	9,34
0,491	93,4	59,6	40,5	28,7	21,2	16,2	14,3	12,7
0,555	135	85,3	56,4	39,7	28,6	21,4	18,6	16,3
0,559	143	88,6	58,7	41,0	29,8	22,4	19,3	17,0
0,666	142	88,1	57,3	39,9	28,3	20,9	18,4	16,1
0,703	130	79,8	52,5	36,6	26,5	19,7	17,1	14,9
0,750	123	74,1	50,3	34,7	24,6	18,3	16,3	14,3
0,789	119	72,1	47,6	32,3	23,6	17,3	15,0	13,2
0,857	132	77,0	49,2	32,6	23,6	17,2	15,0	13,2
0,891	162	92,6	56,5	36,8	25,9	18,5	16,0	13,9
0,946	—	—	82,9	51,3	33,7	23,5	20,1	17,2
1,000	—	—	—	—	44,9	29,6	24,6	20,6

 $\kappa \cdot 10^2$ 

0,104	0,161	0,173	0,192	0,216	0,240	0,279	0,298	0,320
0,213	1,35	1,58	1,86	2,22	2,51	2,92	3,18	3,40
0,292	2,11	2,72	3,49	4,23	5,20	6,27	6,95	7,50
0,360	3,53	5,05	6,44	8,32	10,6	13,3	14,8	16,7
0,402	4,72	6,54	8,77	11,4	14,4	18,3	20,6	23,5
0,450	7,50	12,1	17,1	22,4	28,3	35,8	39,3	43,2
0,491	12,3	19,3	28,3	38,1	49,2	61,9	69,1	76,8
0,555	27,9	44,5	63,6	84,3	108	135	150	165
0,599	40,0	62,8	89,5	120	156	198	221	245
0,666	63,7	95,4	135	183	239	308	359	409
0,703	80,2	120	169	227	296	380	445	500
0,750	109	161	225	302	391	496	563	649
0,789	132	194	270	362	465	600	689	794
0,857	149	223	315	424	551	706	810	927
0,891	133	203	295	402	520	686	780	895
0,946	—	—	188	265	357	465	540	639
1,000	—	—	—	—	57,7	86,7	104	124

SbCl<sub>3</sub> [85]

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, К			$\eta \cdot 10^6$ при T, К			$\kappa \cdot 10^2$ при T, К		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
	0,00	0,7627	0,7416	0,7195	0,637	0,462	0,356	5,1 · 10 <sup>-5</sup>	—
9,95	0,8733	0,8493	0,8248	0,986	0,625	0,468	3,64 · 10 <sup>-3</sup>	3,04 · 10 <sup>-3</sup>	3,12 · 10 <sup>-3</sup>
20,08	1,0006	0,9738	0,9439	1,41	0,869	0,571	4,69 · 10 <sup>-2</sup>	6,20 · 10 <sup>-2</sup>	9,37 · 10 <sup>-2</sup>
32,47	1,1693	1,1395	1,1091	2,29	1,22	0,776	0,222	0,381	0,448
40,35	1,3066	1,2733	1,2382	3,91	1,83	1,04	0,474	0,963	1,46
50,09	1,4880	1,4473	1,4078	7,68	3,02	1,57	1,04	2,39	3,85
60,03	1,6773	1,6379	1,5971	12,7	4,63	2,24	1,33	3,72	6,82
69,95	1,8962	1,8554	1,8183	16,2	5,70	2,79	2,43	4,90	9,09
79,86	2,1543	2,1073	2,0588	16,8	6,12	3,02	5,45	11,1	16,9
85,36	—	—	—	—	—	—	9,43	17,3	26,0
89,86	—	—	—	—	—	—	—	20,5	28,7
95,27	—	—	—	—	—	—	—	6,57	9,35

1,2-Диметоксиэтан

LiClO<sub>4</sub> (298 K) [306]

c	$\epsilon_0$	$\epsilon^*_{\infty 1}$	$\epsilon^*_{\infty 2}$	$f^{**}_{R_1}$	$f^{**}_{R_2}$	$\kappa \cdot 10^5$
0,029	7,8	7,3	2,7	2,0	35	4,0
0,049	8,5	7,3	2,7	2,0	35	8,0
0,104	9,5	7,3	2,7	2,0	35	30

LiBF<sub>4</sub> [90]

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$
	при 273 K			при 298 K			при 323 K		
	0	0,8883	0,559	—	0,8615	0,413	—	0,8334	0,322
1,052	0,8974	0,589	0,102	0,8694	0,439	0,091	0,8416	0,336	0,030
3,560	0,9173	0,709	0,806	0,8890	0,504	0,744	0,8613	0,386	0,679
5,299	0,9310	0,802	1,534	0,9025	0,562	1,584	0,8750	0,429	1,399
7,203	0,9461	0,938	—	0,9173	0,647	2,334	0,8899	0,485	2,227
9,481	0,9641	1,166	—	0,9351	0,788	3,211	0,9078	0,574	3,118
11,49	0,9800	1,440	—	0,9507	0,947	4,023	0,9235	0,673	4,086
13,12	0,9929	1,760	—	0,9634	1,095	4,795	0,9363	0,765	5,059
15,34	1,0112	2,167	—	0,9807	1,310	6,000	0,9537	0,903	7,043

\*  $\epsilon_{\infty 1}$  и  $\epsilon_{\infty 2}$  — предельная высокочастотная диэлектрическая проницаемость первой и второй областей поглощения. \*\* Предельная частота, соответствующая первой и второй областям поглощения.

$\bar{m}$	$\lambda \cdot 10$ при $T, K$							
	228	238	248	258	$26^\circ$	278	288	298
0,67526·10 <sup>-4</sup>	7,7414	7,3271	6,7669	6,1458	5,5186	4,9177	4,3605	3,8543
1,3292·10 <sup>-4</sup>	5,7601	5,4115	4,9690	4,4932	4,0213	3,5743	3,1637	2,7936
2,6278·10 <sup>-4</sup>	4,2661	3,9833	3,6400	3,2797	2,9267	2,5957	2,2938	2,0228
4,1343·10 <sup>-4</sup>	3,4958	3,2519	2,9640	2,6642	2,3736	2,1024	1,8558	1,6355
5,5862·10 <sup>-4</sup>	3,0636	2,8434	2,5867	2,3223	2,0666	1,8292	1,6138	1,4216
8,6132·10 <sup>-4</sup>	2,5406	2,3505	2,1332	1,9115	1,6986	1,5021	1,3242	1,1661
1,0348·10 <sup>-3</sup>	2,3495	2,1708	1,9679	1,7620	1,5650	1,3833	1,2192	1,0733
1,2204·10 <sup>-3</sup>	2,1909	2,0219	1,8313	1,6387	1,4548	1,2856	1,1329	0,9974
1,3833·10 <sup>-3</sup>	2,0800	1,9179	1,7362	1,5525	1,3778	1,2171	1,0725	0,9441
4,4061·10 <sup>-3</sup>	1,2976	1,1866	1,0652	0,9473	0,8372	0,7375	0,6486	0,5705
7,6729·10 <sup>-3</sup>	1,0776	0,9798	0,8771	0,7780	0,6863	0,6043	0,5315	0,4680
1,1218·10 <sup>-2</sup>	0,9738	0,8820	0,7875	0,6973	0,6148	0,5410	0,4763	0,4200
1,8115·10 <sup>-2</sup>	0,8916	0,8041	0,7156	0,6327	0,5575	0,4910	0,4330	0,3829
7,0910·10 <sup>-2</sup>	—	0,9231	0,8313	0,7353	0,6548	0,5879	0,5262	0,4709
0,14481	1,4286	1,3420	1,2390	1,1343	1,0363	0,9485	0,8714	0,8040
0,17808	1,5727	1,5019	1,4074	1,3066	1,2092	1,1204	1,0407	0,9699
0,27933	1,9187	1,9069	1,8556	1,7839	1,7066	1,6313	1,5598	1,4937
0,46385	2,2103	2,3073	2,3467	2,3530	2,3410	2,3232	2,3004	2,2764
0,56338	2,2160	2,3596	2,4480	2,4988	2,5295	2,5469	2,5605	2,5686
0,71738	—	2,4501	2,5983	2,7068	2,7902	2,8597	2,9205	2,9747
0,93572	—	—	2,6282	2,8157	2,9778	3,1232	3,2572	3,3823
1,1197	—	—	—	2,7783	2,9984	3,2022	3,3948	3,5778
1,1802	—	—	—	—	2,9836	3,2061	3,4173	3,6186
1,3630	—	—	—	—	2,8866	3,1567	3,4181	3,6640
2,1139	—	—	—	—	—	2,3975	2,7941	3,1952
2,3288	—	—	—	—	—	2,1216	2,5321	2,9529
2,4438	—	—	—	—	—	1,9627	2,3814	2,8141
3,9421	—	—	—	—	—	—	0,7015	1,0045
4,4712	—	—	—	—	—	—	0,3533	0,5591

## Трибутилфосфат

LiClO<sub>4</sub> [284]

$T, K$	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bc$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		
	$a$	$b \cdot 10^2$	$X \cdot 100$	$a$	$-b \cdot 10^4$
248,15	1,0167	6,7807	0,9918	0,9973	8,560
273,15	0,9947	7,2088	1,9974	1,0000	8,624
298,15	0,9736	7,3925	2,9998	1,0033	8,608
323,15	0,9517	7,6831	4,0161	1,0063	8,576
348,15	0,9304	7,8480	6,0511	1,0122	8,508
			8,0717	1,0178	8,432
			9,9142	1,0238	8,408
			16,05	1,0444	8,336

$X \cdot 100$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$
	248 K		273 K		298 K		323 K		348 K	
0,9918	20,06	0,1994	7,318	0,4147	3,611	0,6544	2,126	0,8144	1,398	0,8553
1,9974	22,49	0,3757	7,974	0,8957	3,890	1,485	2,271	1,945	1,482	2,188
2,9998	25,24	0,6490	8,701	1,607	4,183	2,719	2,425	3,569	1,573	3,981
4,0161	28,39	0,8630	9,578	2,208	4,533	3,831	2,610	6,106	1,676	5,624
6,0511	36,80	1,186	11,54	3,163	5,401	5,866	3,028	8,126	1,873	9,271
8,0717	46,71	1,725	14,66	4,758	6,462	8,892	3,528	12,58	2,239	14,72
9,9142	61,93	1,877	17,50	5,442	7,728	10,34	4,156	14,98	2,588	17,97
16,05	155,5	2,361	42,02	7,163	15,49	14,77	7,802	22,15	4,792	27,50

## Метилацетат

LiClO<sub>4</sub> [86]

$T, K$	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bX^*$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$			$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		
	$a$	$b$	$X \cdot 100$	$a$	$-b \cdot 10^3$	$X \cdot 100$	$a$	$-bt^3$
223	1,0221	1,0272	0,08086	0,9560	1,2538	9,991	1,0656	1,1653
238	1,0028	1,0241	0,3562	0,9628	1,2467	15,00	1,1188	1,0845
248	0,9907	1,0512	0,6289	0,9656	1,2538	20,00	1,1728	1,0566
273	0,9586	1,0798	0,6562	0,9660	1,2510	25,00	1,2246	0,9582
298	0,9266	1,0924	1,0095	0,9693	1,2624	30,00	1,2737	0,9732
323	0,8954	1,1320	2,008	0,9800	1,2526	35,00	1,3220	0,9320
			5,003	1,0121	1,2182			

Свойства растворов при  $T, K$ 

$X \cdot 100$	Свойства растворов при $T, K$					
	223	238	248	273	298	323
	$\eta \cdot 10^3$					
0,08086	—	0,7990	0,6903	0,4878	0,3653	0,2801
0,3562	—	0,8272	0,7138	0,5030	0,3760	0,2879
0,6289	—	0,8543	0,7364	0,5145	0,3862	0,2952
0,6562	—	0,8571	0,7386	0,5189	0,3872	0,2959
0,9840	1,344	0,8647	0,7411	0,5225	0,3921	0,3019
2,008	1,502	1,012	0,8424	0,5742	0,4311	0,3330
5,003	2,310	1,490	1,227	0,8131	0,5826	0,4396
9,991	4,7763	2,9305	2,295	1,417	0,9543	0,6360
14,99	14,25	6,8345	5,101	2,723	1,739	1,089
20,00	58,95	21,93	13,95	6,201	3,455	1,981
25,00	377,8	85,03	48,88	16,45	7,392	3,743
30,00	—	—	—	46,38	17,72	7,660
35,00	—	—	—	—	44,96	16,21
	$\kappa \cdot 10^3$					
0,9840	0,818	—	0,969	0,983	0,971	0,944
2,008	3,22	—	3,92	4,27	4,41	4,48
5,003	15,3	19,4	21,4	26,0	29,4	32,4

X·100	Свойства растворов при T, K					
	223	238	248	273	298	323
9,991	29,2	41,9	48,4	66,0	81,5	95,6
15,00	26,8	45,5	56,3	86,3	115	137
20,00	13,8	30,6	41,8	76,8	114	150
25,00	3,75	12,9	20,4	48,2	83,5	123
30,00	—	—	7,75	24,2	50,6	83,9
35,00	—	—	—	12,0	30,1	58,6

\* Справедливо до 20% (мольн.) LiClO<sub>4</sub>. Стандартное отклонение не превышает 0,1%.

## Этилацетат

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [305]

X	Свойства при T, K						
	253	263	273	283	293	298	303

X	$\rho \cdot 10^{-3}$						
	253	263	273	283	293	298	303
0,094	1,0097	0,9980	0,9876	0,9747	0,9635	0,9575	0,9516
0,206	1,0924	1,0814	1,0699	1,0583	1,0462	1,0408	1,0351
0,296	1,1620	1,1510	1,1396	1,1278	1,1168	1,1112	1,1055
0,399	1,2555	1,2439	1,2325	1,2218	1,2104	1,2046	1,1993
0,500	1,3533	1,3422	1,3303	1,3195	1,3078	1,3027	1,2972
0,599	1,4508	1,4402	1,4298	1,4181	1,4079	1,4034	1,3980
0,699	1,5484	1,5382	1,5282	1,5183	1,5085	1,5032	1,4984
0,806	1,6569	1,6470	1,6372	1,6275	1,6179	1,6132	1,6069
0,849	1,7048	1,6949	1,6846	1,6754	1,6645	1,6596	1,6539
0,900	1,7608	1,7503	1,7400	1,7299	1,7198	1,7143	1,7088
0,950	—	1,8080	1,7974	1,7882	1,7779	1,7724	1,7663
1,000	—	—	—	1,8416	1,8318	1,8267	1,8212

X	$\eta \cdot 10^3$						
	253	263	273	283	293	298	303
0,094	1,36	1,12	0,96	0,821	0,716	0,669	0,621
0,206	3,26	2,51	1,98	1,62	1,35	1,24	1,15
0,296	9,10	6,19	4,56	3,47	2,76	2,49	2,25
0,399	44,7	25,5	16,0	11,0	7,86	6,87	5,98
0,499	227	107	57,6	34,4	22,2	18,2	15,3
0,599	501	228	118	66,3	40,7	33,2	27,7
0,699	376	193	108	66,6	43,0	35,4	29,9
0,806	175	102	64,3	42,9	29,7	25,4	22,5
0,849	145	84,8	53,6	35,7	25,0	21,5	18,9
0,900	147	84,7	52,7	34,9	24,2	20,8	18,0
0,950	—	97,1	58,4	37,6	25,3	21,5	18,5
1,000	—	—	—	44,9	29,5	24,6	20,6

X	$\kappa \cdot 10^2$						
	253	263	273	283	293	298	303
0,094	0,086	0,106	0,124	0,141	0,158	0,168	0,179
0,206	1,23	1,60	2,03	2,47	2,93	3,17	3,42
0,296	3,38	4,92	6,70	8,69	10,8	12,1	13,4

X	Свойства при T, K						
	253	263	273	283	293	298	303
0,399	5,56	9,06	14,3	20,3	27,4	31,5	36,4
0,500	9,98	18,1	29,4	43,1	62,0	71,9	82,7
0,599	20,3	36,5	59,5	90,5	129	149	168
0,699	49,1	80,2	122	175	239	271	301
0,806	125	188	268	360	464	510	542
0,849	150	222	312	416	538	610	680
0,900	150	227	322	433	560	617	695
0,950	—	153	221	304	403	462	540
1,000	—	—	—	57,7	86,7	104	124

LiClO<sub>4</sub> [87]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bX^*$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$			
	a	b	X·100	a	-b·10 <sup>3</sup>	X·100	a	-b·10 <sup>3</sup>
248	0,9499	0,9093	1,936	0,9394	1,1868	16,53	1,0732	1,0760
273	0,9221	0,9210	4,665	0,9640	1,1736	20,22	1,1075	1,0200
298	0,8920	0,9300	8,997	1,0028	1,1416	24,61	1,1499	1,0520
323	0,8639	0,9307	12,98	1,0395	1,1000	29,73	1,1948	1,0040

X·100	$\eta \cdot 10^3$ при T, K				$\kappa \cdot 10^2$ при T, K			
	248	273	298	323	248	273	298	323
1,936	1,007	0,6704	0,4855	0,3714	0,543	0,638	0,681	0,724
4,665	1,313	0,8568	0,6004	0,4525	5,896	7,413	8,465	9,078
8,997	2,144	1,310	0,8414	0,6502	19,06	25,53	32,00	36,95
12,98	3,857	2,104	1,357	0,9558	27,30	40,01	52,00	64,20
16,53	7,147	3,527	2,131	1,471	28,98	45,50	63,61	79,50
20,22	14,13	6,170	3,432	2,239	23,60	43,72	65,00	86,01
24,61	33,97	12,65	6,278	3,743	14,72	32,44	54,21	77,80
29,73	110,2	32,46	14,12	7,520	6,356	17,46	34,90	57,55

\* Справедливо до 20% (мольн.) LiClO<sub>4</sub>. Стандартное отклонение не превышает 0,1%.

SbCl<sub>3</sub> [85]

X·100	$\rho \cdot 10^{-3}$ при T, K			$\eta \cdot 10^3$ при T, K			$\kappa \cdot 10^2$ при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
0,00	0,8946	0,8633	0,8324	0,426	0,323	0,256	1,6·10 <sup>-5</sup>	—	—
10,00	1,0667	1,0337	1,0000	0,709	0,504	0,382	1,54·10 <sup>-2</sup>	1,59·10 <sup>-2</sup>	1,45·10 <sup>-2</sup>
20,04	1,2466	1,2112	1,1747	1,23	0,809	0,572	0,446	0,595	0,684
29,86	1,4256	1,3850	1,3435	2,07	1,196	0,803	0,980	1,42	1,75
39,81	1,6109	1,5692	1,5277	3,30	1,79	1,12	1,56	2,39	3,02
49,20	1,7926	1,7509	1,7164	5,07	2,53	1,50	2,06	3,25	4,15
60,04	1,9946	1,9498	1,9066	7,37	3,30	1,85	4,02	6,80	8,81
69,96	2,1863	2,1398	2,0909	9,66	4,11	2,26	5,56	9,43	1,28
80,05	2,3819	2,3377	2,2974	11,3	4,75	2,51	8,62	13,9	18,2
91,07	2,6088	2,5526	2,4943	10,7	4,62	2,57	15,6	25,6	31,4
100,0	2,7941	2,736	2,681	8,92	3,94	2,31	—	1,3·10 <sup>-2</sup>	3,2·10 <sup>-2</sup>

Амилацетат

SbCl<sub>3</sub> [85]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, K			η·10 <sup>3</sup> при T, K			κ·10 <sup>2</sup> при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348
0,00	0,8703	0,8465	0,8214	0,865	0,591	0,440	3,2·10 <sup>-5</sup>	—	—
10,01	0,9866	0,9607	0,9335	1,37	0,934	0,610	0,88·10 <sup>-2</sup>	1,16·10 <sup>-2</sup>	1,34·10 <sup>-2</sup>
20,20	1,1168	1,0891	1,0588	2,03	1,20	0,803	3,94·10 <sup>-2</sup>	5,95·10 <sup>-2</sup>	6,79·10 <sup>-2</sup>
30,81	1,2658	1,2359	1,2035	3,44	1,87	1,15	0,188	0,289	0,348
40,01	1,4077	1,3751	1,3403	—	—	—	—	—	—
50,02	1,5812	1,5437	1,5071	7,38	3,40	1,86	0,88	1,44	1,91
60,14	1,7687	1,7268	1,6887	10,3	4,32	2,29	1,48	2,54	3,32
70,08	1,9774	1,9345	1,8905	12,5	4,90	2,60	2,94	5,36	7,20
80,32	2,2235	2,1770	2,1280	13,8	5,38	2,64	6,90	11,6	16,0
89,27	—	—	—	—	—	—	14,9	26,4	33,1
91,35	—	—	—	—	—	—	15,0	26,2	32,2
94,20	—	—	—	—	—	—	10,5	16,6	20,9

Тетрагидрофуран

LiBF<sub>4</sub> (298 K) [307]

$\bar{m} \cdot 10^2$	$c \cdot 10^2$	$\kappa \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^2$	$c \cdot 10^2$	$\kappa \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^2$	$c \cdot 10^2$	$\kappa \cdot 10^3$
Безводный ТГФ			ТГФ с содержанием воды 0,01% (масс.)					
0,153	0,134	0,0370	0,155	0,136	0,0390	105,0	98,8	157
0,353	0,310	0,0604	34,4	30,0	20,0	129,2	109,7	216
0,995	0,874	0,122	46,0	40,0	35,3	153,4	129,4	267
3,10	2,72	0,353	57,4	49,7	54,4	189,5	158,3	327
9,16	8,03	1,57	68,9	59,5	77,0	225,7	186,7	369
34,5	30,1	19,8	80,9	69,6	102,7	273,6	223,4	397
						321,8	259,5	389

Bu<sub>4</sub>NClO<sub>4</sub> (295 K) [281]

c	κ	c	κ	c	κ
0,01	0,00260	0,10	0,03745	1,00	0,277 (0,271)
0,05	0,01445	0,50	0,180 (0,072)		

1,3-Диоксолан

LiClO<sub>4</sub> (298 K) [306]

c	ε <sub>0</sub>	ε* <sub>∞1</sub>	ε* <sub>∞2</sub>	f** <sub>R1</sub>	f** <sub>R2</sub>	κ·10 <sup>5</sup>
0,048	7,7	7,1	3,4	2,0	32	1,34
0,144	8,9	7,2	3,7	1,7	28	8,05
0,346	11,0	7,2	3,5	2,0	28	56

\* ε<sub>∞1</sub> и ε<sub>∞2</sub> — предельная высокочастотная диэлектрическая проницаемость первой и второй областей поглощения. \*\* Предельная частота, соответствующая первой и второй областям поглощения.

Бутиролактон

LiClO<sub>4</sub> [94]

T, K	ρ·10 <sup>-3</sup> =a+bX*		ρ·10 <sup>-3</sup> =a+bt*		
	a	b	X·100	a	-b·10 <sup>4</sup>
223**	1,1981	0,8115	0,03608	1,1488	9,888
238	1,1831	0,8343	0,07728	1,1492	9,860
248	1,1734	0,8355	0,2086	1,1506	9,889
273	1,1487	0,8512	0,4703	1,1528	9,872
298	1,1244	0,8617	1,010	1,1572	9,794
323	1,0997	0,8759	2,010	1,1656	9,686
348	1,0746	0,8966	4,995	1,1912	9,470
			10,00	1,2340	9,188
			15,00	1,2760	8,891
			20,01	1,3190	8,760

X·100	Свойства растворов при T, K						
	223	238	248	273	298	323	348
	η·10 <sup>3</sup>						
0,03608	—	—	—	2,738	1,740	1,218	0,9107
0,07728	—	—	—	2,748	1,748	1,223	0,9149
0,2086	—	—	—	2,795	1,778	1,240	0,9269
0,4703	—	—	—	2,886	1,830	1,271	0,9476
1,010	14,95	7,619	5,791	3,101	2,013	1,333	0,9334
2,010	20,42	9,230	—	3,531	2,183	1,524	1,082
4,995	40,08	16,43	11,24	5,321	3,045	2,000	1,461
10,00	167,5	54,24	32,89	12,48	6,071	3,614	2,387
15,00	1601	275,7	146,8	36,99	14,66	7,359	4,430
20,01		2916	1014	141,7	40,57	17,10	8,906
	κ·10 <sup>2</sup>						
1,010	5,26	9,55	12,5	21,8	32,6	44,2	56,0
2,010	8,98	17,3	22,6	40,3	60,8	82,5	104
4,995	11,6	23,6	32,1	60,9	94,8	131	167
10,00	6,13	16,6	25,0	56,4	97,3	143	191
15,00	1,34	5,88	10,3	32,3	66,6	110	160
20,01	0,0918	0,885	2,11	10,7	28,6	59,8	101

\* Стандартное отклонение не превышает 0,1%. \*\* Переохлажденное состояние.

LiClO<sub>4</sub> (298 K) [204]

c·10 <sup>3</sup>	κ·10 <sup>6</sup>	c·10 <sup>3</sup>	κ·10 <sup>6</sup>	c·10 <sup>3</sup>	κ·10 <sup>6</sup>	c·10 <sup>3</sup>	κ·10 <sup>6</sup>
0,0883	3,649	1,902	72,87	23,39	738,9	265,8	4306
0,3173	12,84	2,548	97,60	25,52	790,9	371,3	4970
0,6264	25,05	2,640	99,33	46,48	1315	599,4	5318
0,6572	26,04	3,067	116,2	61,85	1641	783,9	6129

Продолжение

$c \cdot 10^8$	$\kappa \cdot 10^6$	$c \cdot 10^8$	$\kappa \cdot 10^6$	$c \cdot 10^8$	$\kappa \cdot 10^6$	$c \cdot 10^8$	$\kappa \cdot 10^6$
0,9484	37,17	3,311	124,5	142,0	3092	898,8	6085
0,9595	38,13	3,541	133,0	162,1	3328	1001	6282
1,191	46,43	4,043	148,7	203,4	3656	1120	5988
1,393	54,16	11,5	391,0				

LiBF<sub>4</sub> [308]

$\kappa \cdot 100$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$
		248 K			273 K	
0	1,1911	4,92		1,1570	2,69	
3,480	1,2107	8,35	2,44	1,1787	4,22	4,29
3,841	1,2127	8,87	2,48	1,1809	4,39	4,37
6,391	1,2271	13,0	2,65	1,1968	6,64	4,67
9,123	1,2425	20,9	2,31	1,2137	9,66	4,40
9,860	1,2467	24,6	2,11	1,2184	11,0	4,20
13,10	1,2651	44,9	1,54	1,2387	17,5	3,44
16,54	—	—	—	1,2600	31,7	2,42
18,15	—	—	—	1,2700	41,3	1,97
		298 K			323 K	
0	1,1240	1,73		1,1002	1,22	
3,480	1,1478	2,50	6,16	1,1242	1,68	8,17
3,841	1,1502	2,62	6,26	1,1267	1,75	8,40
6,391	1,1680	3,54	7,21	1,1444	2,30	9,77
9,123	1,1873	4,96	6,96	1,1633	3,09	9,82
9,860	1,1915	5,55	6,75	1,1685	3,38	9,63
13,10	1,2141	8,28	5,84	1,1910	4,84	8,65
16,54	1,2372	13,4	4,52	1,2137	7,29	7,20
18,15	1,2480	16,6	3,96	1,2256	8,52	6,57

Этиленкарбонат

Соли при 309,95 K [309]

Соль	$\Phi_V \cdot 10^3 = \Phi_V^0 \cdot 10^3 + B_1 m^{1/2} + B_2 m + B_3 m^{3/2} + \dots$				
	$\Phi_V^0 \cdot 10^3$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$\delta \cdot 10^2$
NaI	33,24±0,33	1,93±0,48	1,08	—	3,6
KI	41,13±0,10	2,54±0,22	—	—	3,1
CsI	54,00±1,64	-6,24±3,43	21,68	—	0,4
Et <sub>4</sub> NBr	170,92±0,06	0,6±0,15	—	—	2,1
Pr <sub>4</sub> NBr	240,43±0,77	1,51±1,84	—	—	14,6
Bu <sub>4</sub> NCl	302,92±0,02	—	-0,97	-17,15	0,7
Bu <sub>4</sub> NBr	310,18±0,21	-1,29±0,46	—	—	4,3
Bu <sub>4</sub> NI	321,77±0,35	1,85±0,82	-3,67	—	0,8

$$\kappa \cdot 10^{-2} = A_1 m + A_2 m^{3/2} + A_3 m^2 + A_4 m^{5/2} + \dots$$

Соль	$A_1$	$-A_2$	$-A_3$	$A_4$	$\delta \cdot 10^2$
NaI	0,04987±0,00023	0,03706	0,00989	0,01009	37
KI	0,05355±0,00019	0,04056	—	0,00275	22
CsI	0,05558±0,00006	0,04417	0,0028	0,0072	0,25
Et <sub>4</sub> NBr	0,05510±0,00023	0,04356	0,0070	—	17
Pr <sub>4</sub> NBr	0,05074±0,00015	0,0429	—	0,0046	7,5
Bu <sub>4</sub> NCl	0,04841±0,00080	0,03545	0,0233	0,0215	3,8
Bu <sub>4</sub> NBr	0,04938±0,00126	0,04879	0,0076	—	60
Bu <sub>4</sub> NI	0,04750±0,00053	0,04469	—	0,0061	29

$m \cdot 10$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$c \cdot 10^2$	$\lambda \cdot 10$	$m \cdot 10$	$\theta, K^\circ$
NaI					
0,5081	33,67	6,718	31,07	0,825	0,8471
1,114	33,97	14,68	27,88	0,816	0,8405
1,779	34,26	23,38	25,30	2,104	2,1619
3,424	34,71	44,67	20,57	2,077	2,1369
5,070	35,15	65,63	17,08	3,228	3,3393
6,721	35,54	86,32	14,32	4,152	4,3234
9,008	36,04	114,4	11,35	4,106	4,2721
0,6004	33,84	7,935	30,50	0,805	0,8215
1,2708	34,11	16,74	27,22	0,801	0,8186
1,9970	34,36	26,22	24,55	2,020	2,0680
4,010	34,91	52,17	19,21	1,999	2,0492
5,980	35,40	77,08	15,48	3,869	4,0223
7,832	35,81	100,1	12,77	3,815	3,9644
10,493	36,38	132,3	9,81	5,464	5,7881
				5,421	5,7445
				7,298	7,8849
				7,204	7,7974
KI					
0,3735	41,67	4,939	34,55	0,449	0,4606
0,9833	41,90	12,96	31,04	0,446	0,4580
1,7188	42,18	22,56	28,15	2,272	2,2879
2,486	42,39	32,50	25,76	2,249	2,2666
3,119	42,54	40,62	24,09	4,604	4,6548
4,930	42,95	63,55	20,19	4,566	4,6159
				6,201	6,2837
CsI					
0,1166	53,56	1,544	38,35	0,687	0,6803
0,2776	53,49	3,671	36,42	0,681	0,6745
0,5770	53,51	7,615	34,02	1,935	1,8443
1,408	53,81	18,47	29,71	1,924	1,8352
2,510	54,16	32,67	25,84	3,204	2,9697
				3,204	2,9697

Продолжение

$m \cdot 10$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$c \cdot 10^2$	$\lambda \cdot 10$	$m \cdot 10$	$\theta, K^*$
Et <sub>4</sub> NBr					
0,2240	171,03	2,954	36,95	0,893	0,8857
0,7834	171,05	10,20	33,36	0,888	0,8812
1,331	171,14	17,13	31,20	2,141	2,0678
1,857	171,18	23,62	29,59	2,128	2,0546
2,928	171,25	36,39	27,01	3,854	3,6249
4,069	171,3	49,37	24,86	3,831	3,6046
				3,431	3,2411
Pr <sub>4</sub> NBr					
0,5106	240,63	6,647	31,50	1,224	1,2034
1,093	241,09	14,00	28,68	1,220	1,1992
1,709	241,16	21,48	26,52	1,918	1,8542
2,259	241,12	27,92	24,95	1,913	1,8504
3,074	241,19	37,09	22,98	2,425	2,3204
				2,419	2,3155
				2,463	2,3561
Bu <sub>4</sub> NCl					
0,4553	302,88	5,925	30,73	0,786	0,7858
0,9210	302,82	11,77	28,25	0,766	0,7647
1,899	302,73	23,39	24,61	1,475	1,4402
2,842	302,63	33,80	21,98	1,463	1,4310
3,743	302,56	43,13	19,89	2,267	2,1638
				2,254	2,1521
Bu <sub>4</sub> NBr					
0,6165	309,89	7,968	29,14	0,714	0,7155
1,226	309,66	15,47	26,37	0,712	0,7151
1,876	309,62	23,08	24,14	1,499	1,4562
2,564	309,51	30,74	22,20	1,492	1,4504
4,024	309,37	45,77	18,91	3,096	2,8713
				3,084	2,8625
				4,175	3,7562
				3,918	3,5567
Bu <sub>4</sub> NI					
0,3970	322,00	5,173	29,61	1,131	1,0990
0,8247	322,00	10,56	27,20	1,132	1,0979
1,272	321,96	15,99	25,34	2,010	1,8721
2,170	321,85	26,32	22,50	2,002	1,8650
3,158	321,65	36,88	20,09	2,775	2,5069
				2,763	2,4966
				3,798	3,2940
				3,779	3,2818

\* Понижение температуры замерзания.

$$\ln \gamma_{\pm} = -2,303 \cdot 0,44325m^{1/2} + 2E_1m + \frac{1}{3}E_2m^{2/3} + \frac{1}{2}E_3m^2 + \dots$$

Соль	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$-E_4$
NaI	1,689±0,218	4,127	4,999	2,163
KI	1,968±0,222	6,071	8,410	4,115
CsI	0,713±0,033	-1,339	0,897	—
Et <sub>4</sub> NBr	0,880±0,062	-2,893	2,206	—
Pr <sub>4</sub> NBr	0,963±0,052	-8,696	14,485	8,525
Bu <sub>4</sub> NCl	1,194±0,220	-7,330	12,001	7,013
Bu <sub>4</sub> NBr	2,066±0,242	-1,616	1,066	—
Bu <sub>4</sub> NI	1,703±0,425	-2,030	1,513	—

Bu<sub>4</sub>NPi (364,15±0,05 K) [178]

$c$	$\lambda \cdot 10$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \eta \cdot 10^3$	$c$	$\lambda \cdot 10$	$\eta \cdot 10^3$	$\lambda \eta \cdot 10^4$
0,1	40,0	1,02	40,8	2,00	2,70	14,5	39,2
0,5	25,7	1,38	35,5	2,20	1,47	27,6	40,6
1,00	15,6	2,23	34,8	2,34	0,775	57,0	44,1
1,50	8,08	4,53	36,6	(чистая соль)			

Пропиленкарбонат

LiClO<sub>4</sub> [97]

$X \cdot 100$	$c_{298}$	Свойства растворов при T, K						
		223	238	248	273	298	323	348
$\rho \cdot 10^{-3}$								
0	0	1,2804	1,2644	1,2538	1,2267	1,1998	1,1730	1,1461
0,04341	0,005109	—	—	1,2543	1,2272	1,2003	1,1732	1,1462
0,08533	0,01004	—	—	1,2546	1,2274	1,2006	1,1738	1,1468
0,2595	0,03058	—	—	1,2556	1,2287	1,2019	1,1750	1,1481
0,5998	0,07073	—	—	1,2578	1,2306	1,2041	1,1776	1,1508
1,017	0,1202	1,2871	1,2708	1,2606	1,2334	1,2066	1,1802	1,1533
1,980	0,2353	1,2940	1,2779	1,2671	1,2403	1,2137	1,1870	1,1607
5,006	0,6049	1,3138	1,2980	1,2878	1,2619	1,2348	1,2082	1,1823
7,501	0,9183	1,3306	1,3158	1,3052	1,2788	1,2519	1,2263	1,2011
10,00	1,240	1,3482	1,3327	1,3229	1,2968	1,2703	1,2454	1,2200
15,01	1,911	1,3829	1,3680	1,3582	1,3338	1,3079	1,2832	1,2598
19,99	2,610	1,4190	1,4046	1,3948	1,3709	1,3471	1,3235	1,2996
$\eta \cdot 10^3$								
0	0	51,42	17,92	10,97	4,563	2,514	1,615	1,146
0,04341	0,005109	—	—	11,06	4,595	2,528	1,623	1,151
0,08533	0,01004	—	—	11,14	4,622	2,541	1,630	1,155
0,2595	0,03058	—	—	11,47	4,724	2,591	1,659	1,172
0,5998	0,07073	—	—	12,28	4,988	2,720	1,723	1,216
1,017	0,1202	70,78	22,06	13,37	5,336	2,851	1,803	1,264



## Продолжение

X·100	c <sub>298</sub>	Свойства растворов при T, К						
		223	238	248	273	298	323	348
1,980	0,2353	—	27,20	16,15	6,266	3,220	1,985	1,388
5,006	0,6049	—	61,35	32,82	10,40	4,965	2,894	1,891
7,501	0,9183	—	135,1	64,23	17,06	7,312	3,947	2,493
10,00	1,240	—	355,1	141,4	29,35	11,15	5,615	3,390
15,01	1,911	—	—	1123	113,7	29,78	12,23	6,435
19,99	2,610	—	—	—	645,8	102,4	31,09	13,70
κ · 10								
1,017	0,1202	0,1002	0,3169	0,5103	1,213	2,114	3,270	4,467
1,980	0,2353	0,1438	0,4808	0,7813	1,858	3,349	5,120	6,899
5,006	0,6049	0,1342	0,5593	0,9899	2,759	5,177	8,103	11,43
7,501	0,9183	0,08122	0,4224	0,8246	2,613	5,278	8,610	12,23
10,00	1,240	0,03976	0,2587	0,5554	2,114	4,650	7,831	11,45
15,01	1,911	—	0,03729	0,1298	0,8944	2,660	5,261	8,412
19,99	2,610	—	—	—	0,2202	1,054	2,705	4,920

LiClO<sub>4</sub>, LiBF<sub>4</sub>

m	κ · 10 при T, К							
	228	238	248	258	268	278	288	298
LiClO <sub>4</sub> [44]								
0,27053	0,2678	0,5337	0,9100	1,3868	1,9660	2,6234	3,3481	4,1281
0,52147	0,2460	0,5440	0,9972	1,6057	2,3614	3,2435	4,2296	5,3048
0,68370	0,1937	0,4631	0,8976	1,5046	2,2797	3,2017	4,2506	5,4056
0,78291	0,1628	0,4075	0,8178	1,4073	2,1735	3,0998	4,1604	5,3365
1,05740	0,0873	0,2553	0,5733	1,0701	1,7540	2,6188	3,6428	4,8082
1,26390	0,0485	0,1612	0,3990	0,8008	1,3865	2,1570	3,0987	4,1937
LiBF <sub>4</sub> [98]								
0,01861	0,0438	0,0796	0,1268	0,1841	0,2512	0,3261	0,4086	0,4965
0,04352	0,0884	0,1612	0,2578	0,3763	0,5142	0,6687	0,8370	1,0172
0,09613	0,1531	0,2823	0,4550	0,6680	0,9150	1,1924	1,4948	1,8169
0,12502	0,1763	0,3270	0,5292	0,7779	1,0675	1,3928	1,7461	2,1225
0,13163	0,1823	0,3399	0,5510	0,8118	1,1156	1,4563	1,8279	2,2244
0,29730	0,2356	0,4572	0,7638	1,1150	1,6064	2,1236	2,6900	3,2968
0,38587	0,2339	0,4641	0,7876	1,2013	1,6957	2,2584	2,8804	3,5463
0,63829	0,1870	0,4009	0,7199	1,1439	1,6638	2,2712	2,9515	3,6966
0,76989	0,1542	0,3458	0,6419	1,0467	1,5461	2,1517	2,8315	3,5825
0,81150	0,1442	0,3280	0,6155	1,0118	1,5099	2,1024	2,7770	3,5237
1,15215	0,0800	0,2056	0,4224	0,7423	1,1666	1,6928	2,3097	3,0103

LiBF<sub>4</sub> [90]

X·100	ρ · 10 <sup>-3</sup>	η · 10 <sup>3</sup>	κ · 10	ρ · 10 <sup>-3</sup>			η · 10 <sup>3</sup>			κ · 10		
				248 К	273 К	323 К	248 К	273 К	323 К	248 К	273 К	323 К
0	1,2510	10,1	—	1,2249	4,44	—	—	—	—	—	—	—
1,352	1,2622	13,9	0,562	1,2344	5,43	—	—	—	—	—	—	—
2,559	1,2722	18,6	0,679	1,2427	6,45	—	—	—	—	—	—	—
4,971	1,2921	28,2	0,790	1,2594	9,37	—	—	—	—	—	—	—
6,309	1,3032	38,7	0,714	1,2687	11,5	—	—	—	—	—	—	—
7,439	1,3125	50,5	0,637	1,2765	13,9	—	—	—	—	—	—	—
8,821	1,3239	69,0	0,546	1,2861	17,7	—	—	—	—	—	—	—
10,40	1,3370	99,9	0,440	1,2971	23,9	—	—	—	—	—	—	—
298 К												
0	1,2000	2,51	—	1,1722	1,56	—	—	—	—	—	—	—
1,352	1,2078	2,95	2,46	1,1801	1,85	—	—	—	—	—	—	—
2,559	1,2148	3,40	3,03	1,1873	2,21	—	—	—	—	—	—	—
4,971	1,2287	4,59	3,57	1,2016	2,69	—	—	—	—	—	—	—
6,309	1,2364	5,37	3,67	1,2096	3,15	—	—	—	—	—	—	—
7,439	1,2429	6,41	3,52	1,2163	3,62	—	—	—	—	—	—	—
8,821	1,2509	7,61	3,42	1,2246	4,22	—	—	—	—	—	—	—
10,40	1,2601	9,70	3,09	1,2341	5,24	—	—	—	—	—	—	—

LiPF<sub>6</sub>, LiAsF<sub>6</sub>

m	κ · 10 при T, К							
	228	238	248	258	268	278	288	298
LiPF <sub>6</sub> [44]								
0,116	0,1180	0,2253	0,3712	0,5542	0,7721	1,0209	1,2959	1,5937
0,213	0,1858	0,3622	0,6090	0,9238	1,3024	1,7376	2,2202	2,7486
0,412	0,2334	0,4847	0,8545	1,3419	1,9431	2,6452	3,4366	4,3079
0,607	0,2186	0,4867	0,9019	1,4717	2,1914	3,0515	4,0346	5,1259
0,891	0,1545	0,3856	0,7778	1,3502	2,1128	3,0511	4,1538	5,4030
LiAsF <sub>6</sub> [98]								
0,03667	0,0719	0,1337	0,2172	0,3215	0,4444	0,5840	0,7375	0,9035
0,07748	0,1311	0,2470	0,4056	0,6046	0,8403	1,1085	1,4048	1,7250
0,08321	0,1383	0,2612	0,4294	0,6405	0,8906	1,1756	—	1,8316
0,10282	0,1614	0,3067	0,5061	0,7580	1,0569	1,1398	1,7760	2,1847
0,23926	0,2527	0,5053	0,8662	1,3326	1,8980	2,5522	3,2830	4,0807
0,25764	0,2585	0,5199	0,8957	1,3835	1,9771	2,6643	3,4331	4,2727
0,40112	0,2657	0,5685	1,0232	1,6357	2,3948	3,2926	4,3103	5,4340
0,61258	0,2103	0,4995	0,9721	1,6442	2,5162	3,5783	4,8099	6,1955
1,00515	0,0823	0,2497	0,5845	1,1356	1,9311	2,9799	4,2713	5,7872

NaI, NaClO<sub>4</sub> (298 K) [310]  
 $\rho \cdot 10^{-3} = \rho_0 \cdot 10^{-3} + A_1 m + A_2 m^2$

Соль	A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub> ·10 <sup>2</sup>	δ·10 <sup>4</sup>	ρ <sub>0</sub>	Конц. интервал
NaI	0,13287	0,9524	0,48	1199,86	0 < c < 0,10
NaClO <sub>4</sub>	0,08572	0,7000	0,83	—	0 < c < 1,3
c	κ	c	κ	c	κ

NaI		NaClO <sub>4</sub>			
0,042924	0,096417	0,010564	0,026463	0,86483	0,61335
0,11161	0,21712	0,054835	0,11823	1,2759	0,57995
0,35717	0,48454	0,11220	0,21363	1,5876	0,52332
0,60451	0,60329	0,31320	0,43485		
0,81867	0,63713	0,55119	0,56248		

$$\kappa \cdot 10^{-2} = \kappa_{\text{макс}} \cdot 10^{-2} \left(\frac{m}{\mu}\right)^a \exp \left[ b(m-\mu)^2 - a \frac{m-\mu}{\mu} \right]$$

Соль	κ <sub>макс</sub>	μ*	a	b·10 <sup>2</sup>	δ·10 <sup>4</sup>
NaI	0,6383	0,7575	0,919	9,0	0,31
NaClO <sub>4</sub>	0,6132	0,7795	0,879	9,4	0,15

\* Концентрация, при которой наблюдается максимум электропроводности.

NaI, NaClO<sub>4</sub> [98]

m	κ·10 при T, K							
	228	238	248	258	268	278	288	298
NaI								
0,069741	0,1270	0,2411	0,3982	0,5960	0,8309	1,0982	1,3934	1,7116
0,11734	0,1836	0,3543	0,5916	0,8919	1,2514	1,6603	2,1112	2,5960
0,28437	0,2700	0,5579	0,9771	1,5246	2,1882	2,9502	3,7936	4,6994
0,57598	0,2256	0,5387	1,0448	1,7514	2,6475	3,7077	4,9024	6,2010
0,77004	0,1601	0,4296	0,9043	1,6072	2,5344	3,6613	4,9579	6,3848
0,99593	0,09415	0,2949	0,6927	1,3314	2,2222	3,3481	4,6792	6,1772
NaClO <sub>4</sub>								
0,25951	0,2751	0,5492	0,9380	1,4368	2,0364	2,7218	3,4812	4,2995
0,34400	0,2864	0,5905	1,0320	1,6070	2,3050	3,1096	4,0043	4,9702
0,52963	0,2591	0,5776	1,0672	1,7308	2,5583	3,5304	4,6254	5,8216
0,78964	0,1794	0,4535	0,9172	1,5886	2,4664	3,5319	4,7624	6,1301
0,98861	0,1222	0,3443	0,7531	1,3806	2,2355	3,3052	4,5675	5,9950
1,3189	0,05674	0,1956	0,4952	1,0092	1,7671	2,7708	4,0058	5,4462

NaI [99]

m	γ± при T, K				m	γ± при T, K			
	288	298	308	318		288	298	308	318
0,3633	0,5964	0,5848	0,5728	0,5609	0,8323	0,5933	0,5733	0,5474	0,5221
0,4312	0,5993	0,5830	0,5650	0,5485	0,9205	0,5945	0,5728	0,5447	0,5175
0,5882	0,5806	0,5681	0,5509	0,5336	0,9286	0,5986	0,5708	0,5401	0,5117
0,8010	0,5869	0,5704	0,5456	0,5222	1,0282	0,6116	0,5763	0,5405	0,5068

NaI [99]

c	κ	ε <sub>0</sub>	ε <sub>∞</sub>	τ·10 <sup>12</sup>	c	κ	ε <sub>0</sub>	ε <sub>∞</sub>	τ·10 <sup>12</sup>
---	---	----------------	----------------	--------------------	---	---	----------------	----------------	--------------------

При 298 К\*

0		65,8	12,5	45	0,20	0,323	60,6	13,0	49
0,05	0,104	64,1	12,5	47	0,50	0,577	57,3	13,0	59
0,10	0,186	63,7	12,5	48	1,0	0,715	53,2	14,0	70

При 298 К

0		64,9	12,5	44	0,20	0,350	59,8	12,5	48
0,10	0,207	61,5	12,5	45	0,35	0,493	57,3	12,5	55

При 274 К

0		71,2	12,7	71	0,20	0,230	64,8	12,3	76
0,10	0,139	66,5	12,5	75	0,35	0,304	62,0	12,0	82

При 258 К

0		75,5	12,0	105	0,21	0,157	66,3	11,7	102
0,10	0,097	70,0	11,5	100	0,36	0,220	63,2	11,3	115

При 244 К

0		78,3	9,7	141	0,21	0,096	70,5	9,7	161
0,10	0,052	74,8	12,2	160	0,37	0,120	67,8	11,2	198

\* В этих растворах содержание воды по Фишеру составляло ≈0,1%; все остальные растворы содержали ≈2% воды.

## KI (298 K) [279]

$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
0,049	89,2	0,244	88,1	0,434	87,9
0,098	88,3	0,292	88,1	0,527	87,9
0,147	87,9	0,339	87,9	0,619	87,8
0,196	88,0	0,387	88,0		

KSCN, KPF<sub>6</sub> [44]

$m$	$\kappa \cdot 10$ при $T, K$							
	228	238	248	258	268	278	288	298

## KSCN

0,21089	0,2884	0,5512	0,9154	1,3743	1,9233	2,5513	3,2460	3,9975
0,44662	0,3344	0,6810	1,1856	1,8426	2,6489	3,5868	4,6420	5,7936
0,72132	0,2941	0,6489	1,1963	1,9370	2,8799	3,9989	5,2775	6,6929
0,83051	0,2689	0,6136	1,1577	1,9134	2,8789	4,0406	5,3742	6,8618
1,15538	0,1893	0,4816	0,9841	1,7245	2,7118	3,9352	5,3772	7,0060
1,41113	0,1365	0,3822	0,8345	1,5339	2,4989	3,7242	5,1949	6,8838

KPF<sub>6</sub>

0,11244	0,1975	0,3735	0,6131	0,9129	1,2666	1,6685	2,1068	2,5793
0,20405	0,2804	0,5423	0,9047	1,3615	1,9057	2,5521	3,2001	3,9259
0,38994	0,3458	0,7063	1,2241	1,8933	2,7016	3,6280	4,6520	5,7589
0,57658	0,3312	0,7184	1,2980	2,0718	3,0232	4,1319	5,3671	6,7103
0,76427	0,2884	0,6639	1,2453	2,0663	3,0891	4,2944	5,6673	7,1687
0,98268	0,2226	0,5584	1,1173	1,9206	2,9607	4,2197	5,6853	7,3084

## RbI (298 K) [279]

$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	$m \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$
0,045	85,5	0,181	81,0	0,313	79,8	0,444	79,4
0,091	83,5	0,225	80,5	0,357	79,6	0,487	79,4
0,136	81,9	0,269	80,0	0,400	79,4		

Ca(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, ZnBr<sub>2</sub> [310]

$$\rho \cdot 10^{-3} = \rho_0 \cdot 10^{-3} + A_1 m + A_2 m^2$$

Соль	$A_1$	$A_2 \cdot 10^2$	$m_{\text{макс}}$	$\sigma \cdot 10^4$	$\rho_0$
Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,17998	0,0	0,3	7,00	1199,86
ZnBr <sub>2</sub>	0,19266	-1,1672	0,5	0,08	

Ca(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, ZnBr<sub>2</sub> [310]

	Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		ZnBr <sub>2</sub>		
$c$	0,1491	0,36017	0,14728	0,28123	0,59795
$\kappa$	0,41183	0,57989	0,16383	0,30362	0,058911

Et<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub>, Pr<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub> [44]

$m$	$\kappa \cdot 10$ при $T, K$							
	228	238	248	258	268	278	288	298

Et<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub>

0,26011	0,4099	0,7810	1,291	1,933	2,693	3,558	4,513	5,542
0,36464	0,4876	0,9442	1,578	2,383	3,343	4,439	5,652	6,964
0,49597	0,5478	1,080	1,835	2,792	3,961	5,294	6,776	8,384
0,67278	0,5776	1,176	2,037	3,156	4,514	6,090	7,851	9,771
0,88208	0,5766	1,208	2,138	3,373	4,893	6,671	8,673	10,870
1,20960	Крист.	Крист.	2,119	3,441	5,098	7,070	9,316	11,804

Pr<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub>

0,1450	0,2321	0,4412	0,7303	1,0943	1,5278	2,0235	2,5720	3,1653
0,2607	0,3207	0,6262	1,0552	1,6039	2,2645	3,0257	3,8726	4,7943
0,4517	0,3736	0,7645	1,3331	2,0801	2,9970	4,0640	5,2721	6,5985
0,4806	0,3775	0,7775	1,3632	2,1359	3,0867	4,1974	5,4525	6,8342
0,7184	0,3516	0,7691	1,4101	2,2842	3,3885	4,7057	6,2134	7,8895
0,9223	Крист.	Крист.	Крист.	Крист.	3,4320	4,8462	6,4888	8,3327

## Четвертичные аммониевые соли [311]

$$\rho = a + bt + ct^2$$

$m$	$a$	$-b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^8$	$m$	$a$
-----	-----	-----------------	----------------	-----	-----

Pr<sub>4</sub>NBr

0,0000	1,22637	1,0718	7,71	0,0635	1,22323
0,0765	1,22456	1,0641	12,48	0,1236	1,21991
0,1550	1,22279	1,0595	18,48	0,1930	1,21638
0,2380	1,22079	1,0431	16,86	0,2645	1,21278
0,3200	1,21872	1,0212	11,81	0,3433	1,20924
0,4115	1,21671	1,0127	15,52	0,4122	1,20616

Продолжение

$-b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^8$	$m$	$a$	$-b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^8$
-----------------	----------------	-----	-----	-----------------	----------------

Bu<sub>4</sub>NBr

1,0712	16,38	0,0542	1,22532	1,0622	9,62
1,0607	19,33	0,1109	1,22464	1,0520	7,33
1,0441	17,24	0,1725	1,22354	1,0422	7,43
1,0315	21,05	0,2359	1,22259	1,0296	4,86
1,0165	15,90	0,3012	1,22159	1,0237	8,86
1,0123	20,38				

Bu<sub>4</sub>NI

$$Y = c_1 + c_2 m^{1/2} + c_3 m + c_4 m^{3/2}, \text{ где } Y = \rho, \eta, \lambda$$

T, K	Плотность $\rho$				Вязкость $\eta$	
	$c_1$	$c_2 \cdot 10^3$	$c_3 \cdot 10^2$	$c_4 \cdot 10^2$	$c_1$	$c_2$

Pr<sub>4</sub>NBr\*

223	1,28081	-2,52	-1,052	-2,586	52,255	13,977
248	1,25260	-1,36	-1,751	-1,345	11,018	0,463
273	1,22569	2,48	-3,080	0,708	4,559	0,237
298	1,19991	-0,97	-1,957	0,134	2,499	0,299
323	1,17310	-0,57	-1,759	0,430	1,6187	0,0671
348	1,14671	-1,03	-0,953	-0,100	1,1439	0,0287
373	1,12040	0,54	-1,032	0,434	0,8600	-0,0042
398	1,09310	0,35	-0,311	-0,002	0,6721	-0,0290

Bu<sub>4</sub>NBr\*\*

223	1,28076	11,20	-10,590	5,077	52,227	23,018
248	1,25256	12,02	-10,549	5,393	11,006	4,328
273	1,22568	6,22	-7,801	3,056	4,558	0,711
298	1,19990	0,25	-5,856	1,967	2,500	0,074
323	1,17311	-1,37	-4,507	1,018	1,6191	-0,0456
348	1,14671	-1,48	-3,839	0,664	1,1440	-0,0087
373	1,12041	-2,44	-2,124	-0,980	0,8599	0,0222
398	1,09311	-2,37	-1,632	-0,941	0,6719	0,0235

Bu<sub>4</sub>NI\*\*\*

223	1,28080	0,77	-3,63	1,874	52,267	10,445
248	1,25260	-1,03	-1,576	-9,484	11,016	1,315
273	1,22571	-5,90	2,153	-4,468	4,561	-0,406
298	1,19991	-3,08	-0,311	-0,825	2,499	0,400
323	1,17310	-1,75	0,248	-1,410	1,6185	0,1711
348	1,14670	-0,03	-0,646	0,528	1,1438	0,0670
373	1,12039	2,36	-1,039	1,168	0,8599	0,0442
398	1,09309	1,91	0,204	-0,097	0,6719	0,0192

Примечание. Максимальные отклонения от экспериментальных значений,  
\*\*  $\rho - 0,04$ ;  $\eta - 0,80$ ;  $\lambda - 0,66$ . \*\*\*  $\rho - 0,04$ ;  $\eta - 0,43$ ;  $\lambda - 0,18$ .

Вязкость $\eta$		Молярная электропроводность $\lambda$			
$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$

Pr<sub>4</sub>NBr\*

33,809	144,96	1,6916	3,3816	2,8227	1,033
4,909	18,12	7,303	11,088	7,946	3,81
2,601	3,59	16,947	-25,514	22,118	12,14
0,606	1,91	29,590	38,005	23,665	8,98
0,6841	0,601	45,706	61,044	47,666	22,21
0,5346	0,222	62,541	76,581	49,854	17,95
0,4743	0,039	80,519	91,664	49,524	12,53
0,4355	-0,065	101,797	119,669	72,180	20,23

Bu<sub>4</sub>NBr\*\*

-51,451	353,78	1,2254	-0,5710	-3,1853	2,991
-6,859	38,20	5,204	1,151	-20,197	16,82
1,375	6,66	12,510	2,642	-43,786	36,21
2,156	0,91	26,117	-19,353	-23,544	27,94
1,4367	0,154	39,563	-27,758	-33,053	39,09
0,8417	0,095	55,850	-42,792	-33,290	45,42
0,5029	0,093	74,589	-68,881	-9,350	34,71
0,3461	0,057	93,384	-84,580	-12,792	44,46

Bu<sub>4</sub>NI\*\*\*

-41,097	318,06	1,4153	-1,7550	-0,7021	1,297
1,253	29,75	7,094	-14,171	18,221	-13,70
6,417	1,42	16,610	-29,946	32,368	-20,25
0,392	2,88	27,432	-34,935	20,585	-9,34
0,3031	1,475	42,974	-60,038	53,686	-32,69
0,4311	0,573	56,438	-53,192	-2,301	20,79
0,3888	0,198	76,446	-93,481	66,529	-31,40
0,3468	0,050	96,218	-117,751	86,806	-40,82

%: \*  $\rho - 0,04$ ;  $\eta - 0,96$ ;  $\lambda - 0,67$ .

$$\eta = \exp(\alpha + \beta/T + \gamma/T^2 + \delta/T^3 + \varepsilon/T^4)$$

<i>m</i>	$\alpha$	$-\beta$	$\gamma$	$-\delta \cdot 10^9$	$\varepsilon \cdot 10^{-11}$
Pr <sub>4</sub> NBr*					
0,0000	0,76756	5318,470	3660755	0,9062973	0,8695432
0,0765	6,54423	12642,35	7110288	1,617842	1,414256
0,1550	7,22485	13423,22	7467669	1,692408	1,476453
0,2380	8,32177	14713,89	8044602	1,805393	1,561224
0,3200	8,46606	14954,36	8196973	1,844174	1,598455
0,4115	7,04280	13002,92	7236851	1,639634	1,442794
Bu <sub>4</sub> NBr					
0,0635	2,64175	7426,182	4548339	1,069798	0,9836807
0,1236	4,23197	9475,717	5539361	1,279364	1,149583
0,1930	7,32458	13416,17	7412374	1,669407	1,452808
0,2645	6,27025	12111,40	6836456	1,559485	1,379614
0,3433	3,32003	8504,017	5230706	1,248810	1,163228
0,4122	5,83792	11554,28	6604911	1,519737	1,363831
Bu <sub>4</sub> NI					
0,0542	5,82287	11347,41	6327857	1,421572	1,237776
0,1109	7,18097	12762,27	6865729	1,507669	1,288149
0,1725	10,98977	17321,29	8902711	1,907896	1,582566
0,2359	10,18850	16607,70	8702474	1,890049	1,586631
0,3012	7,18967	12851,20	6984639	1,548004	1,339579

$$\lambda = \exp(-\alpha' + \beta'/T + \gamma'/T^2 + \delta'/T^3 + \varepsilon'/T^4)$$

<i>m</i>	$\alpha'$	$-\beta'$	$\gamma'$	$-\delta' \cdot 10^{-9}$	$\varepsilon' \cdot 10^{-11}$
Pr <sub>4</sub> NBr					
0,0765	4,34873	14095,71	7500202	1,651989	1,411258
0,1550	6,88929	17165,35	8949089	1,953293	1,646553
0,2380	6,44169	16431,78	8586634	1,876517	1,590701
0,3200	7,27707	17437,95	9079701	1,982100	1,676258
0,4115	4,66638	13971,14	7416595	1,632364	1,408155
Bu <sub>4</sub> NBr					
0,0635	-2,29265	6749,668	3633526	0,8671760	0,8233493
0,1236	0,41714	9092,510	5227708	1,200671	1,082891
0,1930	-0,77383	7419,224	4419974	1,029994	0,9530992
0,2645	0,77980	9205,521	5309576	1,216245	1,101175
0,3433	-0,95967	6976,747	4209984	0,9878280	0,9296256
0,4122	-0,73524	7217,012	4338265	1,019256	0,9612879
Bu <sub>4</sub> NI					
0,0542	1,47762	10325,60	5662444	1,256826	1,095952
0,1109	5,32457	14773,24	7606588	1,627196	1,358169
0,1725	8,23168	18248,54	9188025	1,942786	1,593807
0,2359	10,39471	20894,22	10421540	2,193918	1,784891
0,3012	8,94107	18975,49	9524906	2,011221	1,651095

### Bu<sub>4</sub>NBr, Bu<sub>4</sub>NI [279]

$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$	$\bar{m} \cdot 10^3$	$\Phi_V \cdot 10^3$	<i>m</i> · 10 <sup>3</sup>	$\Phi_V \cdot 10^3$
Bu <sub>4</sub> NBr							
0,068	310,7	0,271	311,0	0,470	311,1	0,666	311,1
0,136	310,5	0,337	311,0	0,536	311,1	0,731	311,2
0,204	310,9	0,404	311,0	0,601	311,1		
Bu <sub>4</sub> NI							
0,028	324,0	0,113	321,0	0,196	320,9	0,277	320,9
0,057	322,1	0,141	321,0	0,223	321,0	0,304	320,9
0,085	321,5	0,168	321,0	0,250	321,0	0,331	321,0
						0,357	321,0

### Bu<sub>4</sub>NI, Bu<sub>4</sub>NClO<sub>4</sub> (298 K) [310]

$$\rho \cdot 10^{-3} = \rho_0 \cdot 10^{-3} + A_1 m + A_2 m^2$$

Соль	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub> · 10 <sup>2</sup>	<i>m</i> <sub>макс</sub>	$\sigma \cdot 10^4$	$\rho_0$
Bu <sub>4</sub> NI	-0,01292	0,3738	0,9	0,48	1199,86
Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	-0,05793	1,5648	0,8	0,83	

### Bu<sub>4</sub>NI, Bu<sub>4</sub>NClO<sub>4</sub> [310]

<i>c</i>	$\kappa$	<i>c</i>	$\kappa$	<i>c</i>	$\kappa$
Bu <sub>4</sub> NI					
0,039921	0,086623	0,011023	0,026940	0,098709	0,19453
0,11147	0,20466	0,030095	0,068656	0,27105	0,41664
0,43903	0,48129	0,052314	0,11283	0,52973	0,58684
Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>					

$$\kappa \cdot 10^{-2} = \kappa_{\text{макс}} \cdot 10^{-2} \left( \frac{m}{\mu} \right)^a \exp \left[ b - (m - \mu)^2 - a \frac{(m - \mu)}{\mu} \right]$$

Соль	$\kappa_{\text{макс}}$	$\mu$	<i>a</i>	<i>b</i> · 10 <sup>2</sup>	$\sigma \cdot 10^5$
Bu <sub>4</sub> NI	0,5258	0,7235	0,901	23	0,84
Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	0,6262	0,8255	0,884	9,6	2,5

\* Концентрация, при которой наблюдается максимум электропроводности.

## Соли тетрабутиламмония

m	κ·10 при T, K							
	228	238	248	258	268	278	288	298

Bu<sub>4</sub>NI [310]

0,033699	0,06681	0,1248	0,2040	0,3035	0,4216	0,5561	0,7050	0,8662
0,096308	0,1462	0,2787	0,4625	0,6963	0,9766	1,2983	1,6568	2,0466
0,42507	0,2343	0,4923	0,8822	1,4113	2,0789	2,8756	3,7915	4,8129
0,62759	Крист.	0,4491	0,8429	1,3993	2,1239	3,0099	4,0493	5,2259
0,85849	»	Крист.	0,7256	1,2564	1,9728	2,8758	3,9585	5,2099
0,93720	»	»	0,6809	1,1956	1,8991	2,7923	3,8768	5,1364

Bu<sub>4</sub>NClO<sub>4</sub> [98]

0,070844	0,1321	0,2459	0,4005	0,5936	0,8221	1,0816	1,3680	1,6775
0,24925	0,2788	0,5421	0,9129	1,3892	1,9646	2,6282	3,3703	4,1796
0,55401	0,2946	0,6172	1,1030	1,7584	2,5815	3,5601	4,6806	5,9264
0,79879	0,2447	0,5439	1,0191	1,6875	2,5550	3,6129	4,8478	6,2439
1,6522	0,08944	0,2410	0,5292	0,9976	1,6791	2,5905	3,7361	5,1116
2,3733	0,03546	0,1105	0,2742	0,5724	1,0488	1,7366	2,6564	3,8181

Bu<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub> [44]

0,09139	0,1516	0,2854	0,4685	0,6989	0,9727	1,2855	1,6309	2,0060
0,1991	0,2446	0,4729	0,7932	1,2022	1,6957	2,2640	2,8976	3,5884
0,3869	0,2939	0,5931	1,0278	1,5992	2,3008	—	—	—
0,5106	0,2905	0,6078	1,0843	1,7257	2,5301	3,4862	4,5772	5,7924
0,9762	0,1460	0,4607	0,9023	1,5503	2,4153	3,4957	4,7818	6,2551
1,4834	Крист.	Крист.	Крист.	Крист.	1,8621	2,8457	4,0718	5,5277

SbCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> [245]

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, K			η·10 <sup>3</sup> при T, K			κ·10 <sup>2</sup> при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348

SbCl<sub>3</sub>

0,00	1,1997	1,1732	1,1460	2,486	1,638	1,167	—	—	—
6,23	1,299	1,271	1,242	3,434	2,062	1,395	0,287	0,436	0,555
9,76	1,356	1,327	1,297	4,307	2,479	1,612	0,306	0,520	0,689
14,19	1,429	1,396	1,365	5,644	3,002	1,892	0,344	0,580	0,779
20,35	1,526	1,493	1,460	8,222	3,939	2,355	0,408	0,758	1,117
29,77	1,678	1,643	1,607	12,48	5,775	3,091	0,420	0,897	1,425
40,49	1,850	1,813	1,774	21,37	7,808	3,859	0,458	1,072	1,812
49,86	2,001	1,960	1,918	26,57	9,056	4,344	0,560	1,521	2,551
59,34	2,152	2,109	2,065	28,37	9,499	4,493	0,888	2,170	3,629
70,08	2,322	2,276	2,229	25,48	8,843	4,355	1,441	3,322	5,366
78,52	2,460	2,409	2,357	21,11	7,451	3,873	1,830	4,054	6,334
85,18	2,565	2,512	2,457	16,34	6,259	3,367	2,065	4,286	6,404
100,0	2,794	2,736	2,681	8,92	3,94	2,31	—	—	—

X·100	ρ·10 <sup>-3</sup> при T, K			η·10 <sup>3</sup> при T, K			κ·10 <sup>2</sup> при T, K		
	298	323	348	298	323	348	298	323	348

FeCl<sub>3</sub>

1,92	1,219	1,191	1,172	2,785	1,797	1,448	2,126	3,321	3,975
7,37	1,278	1,251	1,224	5,162	2,926	1,810	4,302	8,468	12,92
11,55	1,314	1,288	1,261	7,750	4,028	2,362	4,520	9,384	15,88
14,69	1,348	1,321	1,294	11,78	5,662	3,133	4,432	9,701	16,83
19,83	1,397	1,370	1,344	25,30	10,30	5,053	3,779	9,252	16,62
25,17	1,457	1,429	1,401	83,81	23,63	9,894	1,885	5,398	12,29
29,57	1,508	1,468	1,449	237,9	48,68	16,65	0,763	2,615	7,706
35,58	1,525	1,499	1,472	1974	248,1	48,95	0,111	0,864	3,447

## ГЛАВА 3

### МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ СИСТЕМЫ. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ

Растворители для ионофоров должны обладать хорошей сольватирующей (растворяющей) способностью, низкой вязкостью, достаточно высокой диэлектрической проницаемостью (не ниже 20). Первые два условия являются наиболее важными, поскольку при достаточно высокой концентрации соли (>1,5—2 M) вполне удовлетворительная электропроводность достигается даже в низкополярных растворителях. В более разбавленных растворах полярность растворителя оказывает существенное влияние на электропроводность растворов, и это влияние будет усиливаться при уменьшении концентрации соли и радиуса ионов. Поэтому выбор индивидуального растворителя, удовлетворяющего перечисленным выше условиям и обеспечивающего высокую электропроводность растворов данного ионофора, является сложной задачей. Очевидно, что преимущество в этом плане будут иметь смешанные растворители, позволяющие получать электролитные композиции с оптимальными физико-химическими параметрами.

Химическая природа растворителя оказывает существенное, а подчас и решающее влияние на электролитные свойства неводных растворов. Имеющиеся в литературе данные по свойствам растворов ионофоров в смешанных растворителях позво-

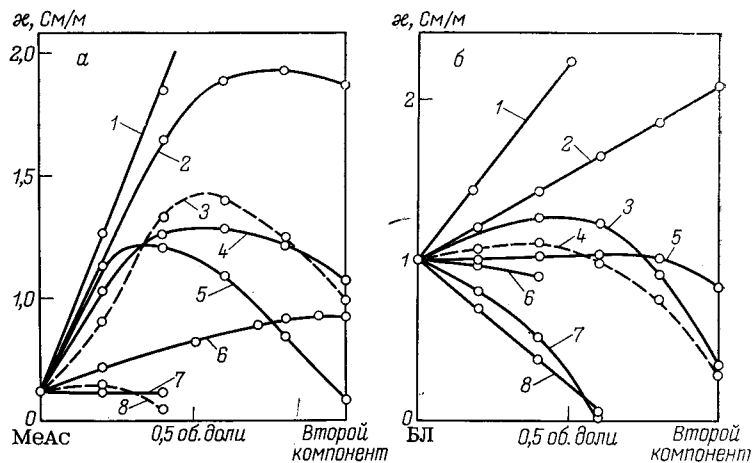


Рис. 13. Электропроводность 1 М растворов  $\text{LiClO}_4$  в смешанных растворителях при 298 К:

*a* — на основе метилацетата: 1 — АН; 2 — ДМФ; 3 — ДМСО; 4 — БЛ; 5 — ПК; 6 — Ру; 7 — диглим; 8 — НБ; *б* — на основе бутиролактона: 1 — АН; 2 — ДМФ; 3 — МеАс; 4 — ТГФ; 5 — Ру; 6 — диглим; 7 — ХБ; 8 — НБ

ляют проследить влияние природы растворителя, в частности, его сольватирующей способности, на удельную электропроводность. Так, в случае 1 М растворов  $\text{LiClO}_4$  [200] наибольшее уменьшение электропроводности в смесях на основе бутиролактона (рис. 13, б) наблюдается при добавлении к последнему растворителю с низкой донорной способностью — хлорбензола ( $DN \approx 0$ ) и нитробензола ( $DN = 4,4$ ). Кроме того, несмотря на то, что диметилловый эфир диэтиленгликоля (диглим) имеет большую, чем хлорбензол, вязкость и близкую к нему диэлектрическую проницаемость, электропроводность растворов в смесях с диглимом ( $DN \approx 24$ ) существенно выше. Аналогичная картина наблюдается и для смешанных растворителей на основе метилацетата (рис. 13, а): достаточно сопоставить ход изотерм электропроводности МеАс с добавками БЛ и НБ — растворителей с близкой вязкостью и диэлектрической проницаемостью, но резко различающимися донорными свойствами.

Отметим, что электропроводность растворов электролитов в смешанных неводных растворителях всегда больше электропроводности в чистых растворителях. Исключение составляет только ацетонитрил, что можно связать с его малым молярным объемом (по сравнению с другими неводными растворителями) [200]. Для АН характерны также малая вязкость и достаточно высокие  $DN$  и  $\epsilon$ . Поэтому крайне сложно заметно увеличить электропроводность растворов солей в АН за счет

добавок второго растворителя. В этом случае основное влияние на электропроводность оказывает величина  $V_M$ . Для большинства органических растворителей молярные объемы различаются незначительно, и для них всегда можно подобрать такой состав смесей, чтобы электропроводность растворов электролитов в них была выше, чем в исходных растворителях (см. рис. 13).

Как известно [42], растворители, обладающие противоположной по отношению к растворенному веществу химической функцией, должны способствовать повышению силы электролита. Данное положение, очевидное в случае Н- и L-кислот и оснований, распространяется и на электролитическую диссоциацию солей, поскольку этот процесс также можно рассматривать как следствие кислотно-основного взаимодействия между катионом (кислота) и растворителем (основание) либо между анионом (основание) и растворителем (кислота). Сказанное в особенности справедливо по отношению к электролитической диссоциации литиевых солей, обладающих небольшим по размеру ( $r_{\text{кр}} = 0,068$  нм) и вследствие этого довольно «кислым» катионом, сольватация которого осуществляется преимущественно по донорно-акцепторному типу.

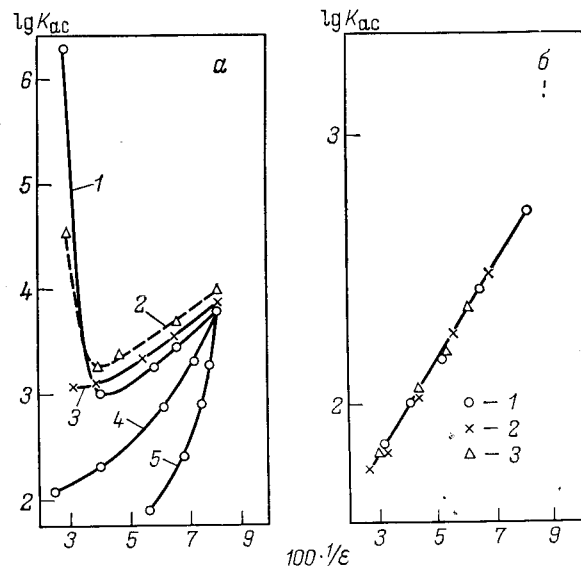


Рис. 14. Зависимость  $\lg K_{\text{ac}} - 1/\epsilon$  для некоторых солей в смешанных органических растворителях на основе пиридина при 298 К:

*a* — соли — LiPi (1), NaPi (2), KPi (3) в смесях Ру с НБ; 4 — LiPi в смеси Ру с БЛ; 5 — LiPi в смеси Ру с ДМА; *б* — Oct<sub>4</sub>NPi в смесях Ру с НБ (1), БЛ (2) и ДМА (3)

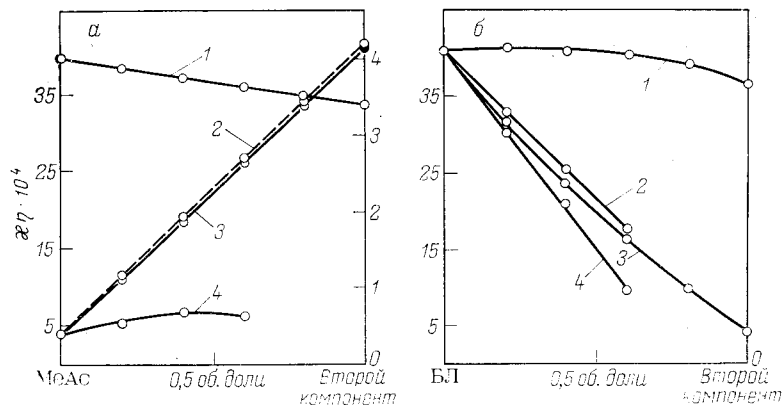


Рис. 15. Исправленная на вязкость электропроводность 1 М растворов  $\text{LiClO}_4$  в смешанных растворителях:

а — на основе метилацетата: 1 —  $\text{EtAc}$  (правая шкала); 2 — ПК; 3 — БЛ; 4 — НБ;  
 б — на основе бутиролактона: 1 — ДМФ; 2 — НБ; 3 —  $\text{MeAc}$ ; 4 — ХБ

Влияние сольватации на константы ассоциации электролитов в смешанных растворителях можно наглядно проиллюстрировать следующим примером [200]. На рис. 14 приведена зависимость  $\lg K_{ac} - 1/\epsilon$  для ряда пикратов (от  $\text{LiPi}$  до  $\text{Oct}_4\text{NPi}$ ) в смешанных растворителях на основе пиридина ( $\text{Py}$ ). Из рисунка видно, что в ряду изодиэлектрических смесей величины  $K_{ac}$  для пикратов щелочных металлов существенно возрастают от ДМА к НБ. В то же время для соли  $\text{Oct}_4\text{NPi}$ , имеющей крупный и вследствие этого несольватирующийся катион ( $r_{кр} = 0,522$  нм), природа смешанного растворителя практически не сказывается на значениях величин  $K_{ac}$ . При переходе от  $\text{Py}$  к НБ величина  $K_{ac}$   $\text{LiPi}$  проходит через минимум в точке пересольватации и становится очень большой в чистом НБ, что связано с огромным различием в донорной способности этих растворителей. Для  $\text{NaPi}$  и  $\text{KPi}$  характер зависимости остается таким же, как и в случае  $\text{LiPi}$ , однако сами величины  $K_{ac}$  в обоих растворителях различаются уже не так сильно, поскольку кислотные свойства  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  выражены заметно слабее, чем у  $\text{Li}^+$ . В силу этого в высокодонорном пиридине  $K_{ac}$  для  $\text{NaPi}$  и  $\text{KPi}$  несколько возрастают по сравнению с  $\text{LiPi}$ , а в низкодонорном НБ, наоборот, резко уменьшаются. Такое изменение  $K_{ac}$  можно объяснить тем, что в  $\text{Py}$  сольватация катионов осуществляется по донорно-акцепторному типу с образованием сольватно-разделенных ионных пар, а в НБ катионы сольватируются по ион-дипольному типу с образованием контактных ионных пар, следствием чего является изменение констант ассоциации солей в этом растворителе в полном соответствии с кристаллографическим радиусом катионов.

Анализ величин исправленной на вязкость электропроводности 1 М растворов солей приводит к выводу, что при постоянстве энергии сольватации наблюдается линейная зависимость  $\kappa\eta$  от состава смешанного растворителя. Примером могут служить смеси, состоящие из близких по химической природе компонентов (метилацетат — этилацетат) и смеси, в которых только один из растворителей является сольватирующим (БЛ — НБ, БЛ — ХБ) (рис. 15). Линейность изотерм  $\kappa\eta$  при заданной концентрации электролита будет наблюдаться лишь тогда, когда компоненты смешанного растворителя близки по сольватирующей способности, либо, напротив, различаются очень сильно. Во всех остальных случаях наблюдаются отклонения от аддитивности, которые могут быть как положительными, так и отрицательными. Так, в смесях БЛ с ДМФ эти отклонения положительны, а с  $\text{MeAc}$  — отрицательны (рис. 15). По-видимому, это обстоятельство связано с влиянием диэлектрической проницаемости второго компонента. Роль последнего фактора четко прослеживается при сопоставлении изотерм  $\kappa\eta$  для смесей типа БЛ — инертный растворитель (изотермы  $\kappa\eta$  располагаются в соответствии с значением  $\epsilon$  второго компонента).

Следует также отметить, что в 1 М растворах солей в смесях апротонных растворителей, составленных из близких по химической природе компонентов, изотермы  $\Delta H_x^\ddagger$  линейны во всем концентрационном интервале смешанного растворителя.

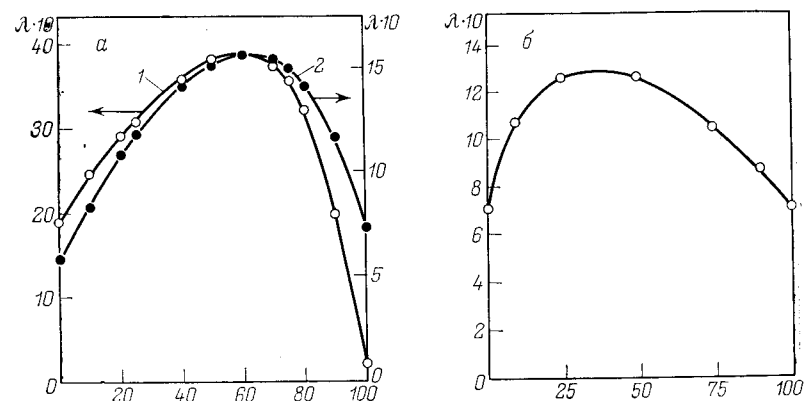


Рис. 16. Молярная электропроводность растворов перхлоратов щелочных металлов в смешанном растворителе ПК — 1,2-ДМЭ при 303 К.

Состав смеси выражен в объемн. % ПК;  
 а — растворы  $\text{LiClO}_4$  (1 — 0,1 М; 2 — 1 М);  
 б — 1 М раствор  $\text{NaClO}_4$



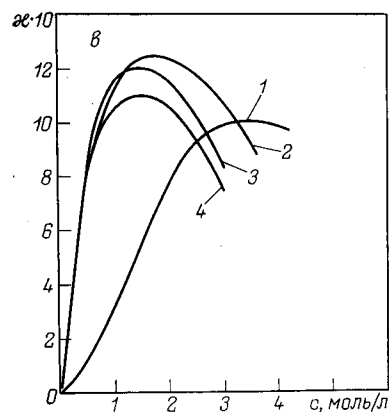
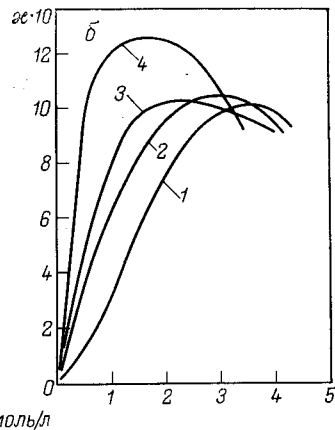
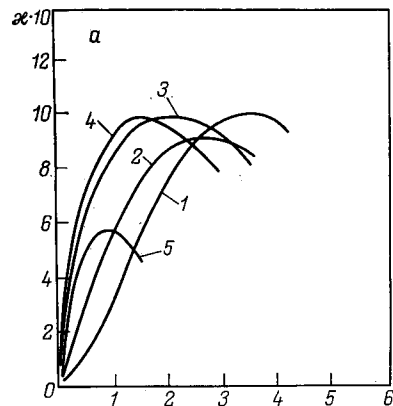


Рис. 17. Удельная электропроводность растворов  $\text{LiClO}_4$  в смешанных органических растворителях на основе диоксолана при 298 К.

Кривая 1 всюду относится к чистому диоксолану;  
 а — смеси с ПК, объемн. % ПК (2 — 10; 3 — 20; 4 — 30; 5 — 100);  
 б — смеси с ЭК, объемн. % ЭК (2 — 10; 3 — 20; 4 — 35);  
 в — смеси с ВК, объемн. % ВК (2 — 50; 3 — 80; 4 — 100)

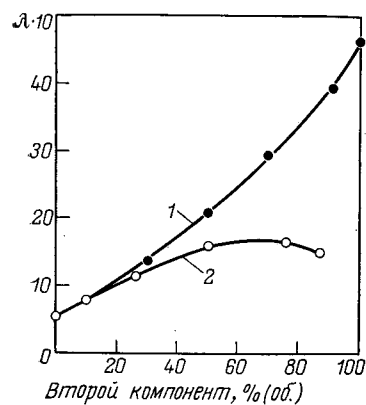


Рис. 18. Электропроводность 1 М растворов  $\text{LiAsF}_6$  в смешанных растворителях ПК — АН (1) и ПК — 1,2-ДМЭ (2) при 298 К

Ниже приводятся свойства трехкомпонентных электролитных систем. Дополнительные данные могут быть почерпнуты из рис. 16—18 [312—316] и работ [177, 317—329].

Метанол — ацетон (1 : 1 по массе)

LiBr [65]

m	Свойства растворов при T, К							
	223	233	243	253	263	273	283	293

$\rho \cdot 10^{-3}$

0,265	0,8844	0,8742	0,8647	0,8543	0,8445	0,8349	0,8248	0,8148
0,388	0,8931	0,8830	0,8738	0,8641	0,8541	0,8444	0,8343	0,8245
0,777	0,9111	0,9018	0,8921	0,8821	0,8727	0,8632	0,8532	0,8437
1,05	0,9322	0,9234	0,9136	0,9039	0,8939	0,8840	0,8748	0,8651
1,53	0,9620	0,9528	0,9431	0,9333	0,9241	0,9143	0,9048	0,8952
2,16	0,9927	0,9830	0,9736	0,9642	0,9546	0,9454	0,9360	0,9264
2,51	1,0183	1,0096	0,9990	0,9906	0,9810	0,9715	0,9617	0,9532
3,10	1,0516	1,0414	1,0318	1,0227	1,0129	1,0041	0,9952	0,9861
3,56	1,0785	1,0690	1,0598	1,0509	1,0414	1,0324	1,0229	1,0150
4,14	1,1102	1,1018	1,0918	1,0826	1,0730	1,0644	1,0548	1,0463

$\eta \cdot 10^3$

0,265	1,53	1,23	1,02	0,849	0,722	0,630	0,549	0,487
0,388	1,82	1,44	1,18	0,981	0,830	0,712	0,616	0,539
0,777	2,23	1,76	1,43	1,18	0,992	0,842	0,726	0,629
1,05	2,90	2,26	1,81	1,47	1,22	1,03	0,884	0,763
1,53	4,26	3,23	2,54	2,03	1,66	1,39	1,18	1,00
2,16	6,30	4,73	3,61	2,85	2,30	1,89	1,58	1,32
2,51	10,1	7,15	5,28	4,05	3,21	2,59	2,14	1,78
3,10	17,8	20,5	8,59	6,43	4,95	3,90	3,13	2,57
3,56	31,7	—	13,9	9,95	7,47	5,79	4,48	3,69
4,14	67,6	40,6	25,5	17,2	12,3	9,23	7,04	5,45

$\kappa \cdot 10$

0,265	14,1	17,3	20,9	24,7	28,8	33,1	37,3	42,1
0,388	11,4	14,2	17,2	20,5	24,1	27,8	31,7	35,9
0,777	7,85	9,95	12,2	14,6	17,2	20,1	23,1	26,1
1,05	5,84	7,43	9,23	11,2	13,5	15,8	18,3	21,0
1,53	3,87	5,02	6,33	7,86	9,54	11,3	13,3	15,5
2,16	2,63	3,46	4,41	5,52	6,74	8,03	9,46	11,0
2,51	1,80	2,45	3,22	4,12	5,14	6,24	7,52	8,91
3,10	1,19	1,68	2,25	2,94	3,74	4,65	5,67	6,81
3,56	0,760	1,12	1,56	2,10	2,73	3,44	4,30	5,18
4,14	0,438	0,686	1,00	1,40	1,88	2,44	3,15	3,83

m	Свойства растворов при T, K							
	223	233	243	253	263	273	283	293
	$\rho \cdot 10^{-3}$							
0,0910	0,8710	0,8612	0,8509	0,8409	0,8311	0,8210	0,8112	0,8006
0,251	0,8804	0,8703	0,8606	0,8506	0,8405	0,8306	0,8208	0,8104
0,512	0,8943	0,8847	0,8745	0,8647	0,8548	0,8454	0,8353	0,8255
0,791	0,9114	0,9011	0,8909	0,8815	0,8721	0,8621	0,8523	0,8427
1,04	0,9216	0,9123	0,9025	0,8927	0,8827	0,8735	0,8639	0,8540
1,64	0,9492	0,9396	0,9302	0,9206	0,9111	0,9016	0,8920	0,8822
2,16	0,9735	0,9642	0,9547	0,9456	0,9360	0,9268	0,9176	0,9083
2,77	1,0040	0,9948	0,9854	0,9764	0,9674	0,9582	0,9491	0,9402
3,68	1,0341	1,0258	1,0168	1,0072	0,9974	0,885	0,9794	0,9709
4,71	1,0707	1,0611	1,0521	1,0422	1,0325	1,0239	1,0148	1,0057

	$\eta \cdot 10^3$							
0,0910	1,26	1,03	0,852	0,721	0,620	0,540	0,475	0,421
0,251	1,43	1,16	0,945	0,804	0,685	0,595	0,519	0,458
0,512	1,76	1,40	1,14	0,947	0,800	0,689	0,599	0,523
0,791	2,15	1,70	1,36	1,12	0,939	0,800	0,686	0,597
1,04	2,59	2,00	1,58	1,29	1,08	0,909	0,778	0,669
1,64	3,94	2,93	2,24	1,78	1,44	1,20	1,00	0,853
2,16	5,88	4,20	3,09	2,36	1,88	1,52	1,25	1,06
2,77	8,43	5,76	4,15	3,14	2,42	1,95	1,61	1,32
3,68	14,1	9,05	6,19	4,50	3,39	2,64	2,09	1,72
4,71	22,8	13,9	9,07	6,37	4,69	3,55	2,75	2,24

	$\kappa \cdot 10$							
0,0910	22,9	27,7	32,9	38,3	43,9	49,7	56,4	63,0
0,251	20,3	24,6	29,3	34,2	39,4	44,5	50,6	55,8
0,512	15,3	18,8	22,6	26,7	30,9	35,1	39,9	44,4
0,791	12,3	15,4	18,8	22,2	25,9	29,9	33,9	38,7
1,04	10,7	13,5	16,6	19,9	23,5	27,1	31,3	35,1
1,64	7,21	9,44	11,9	14,6	17,6	20,7	24,0	27,5
2,16	5,22	7,04	9,25	11,7	14,4	17,3	20,2	23,4
2,77	3,76	5,38	7,19	9,28	11,6	14,0	16,7	19,5
3,68	2,41	3,60	5,12	6,83	8,79	10,9	13,2	15,8
4,71	1,62	2,58	3,77	5,20	6,83	8,69	10,7	12,7

## Метилацетат — пропиленкарбонат

LiClO<sub>4</sub> (объемн. доля ПК=0,1) [328]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bX^*$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		
	a	b	X·100	a	b·10 <sup>3</sup>
223	1,0398	1,0613	1,802	1,0011	1,139
238	1,0225	1,0611	5,001	1,0356	1,151

T, K	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bX^*$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		
	a	b	X·100	a	b·10 <sup>3</sup>
248	1,0127	1,0405	10,01	1,0889	1,148
273	0,9832	1,0498	16,13	1,1533	1,153
298	0,9538	1,0578	20,07	1,1950	1,137
323	0,9241	1,0693	30,10	1,2980	1,016

X·100	Свойства растворов при T, K					
	223	238	248	273	298	323
0	1,402	0,9306	0,8512	0,5843	0,4304	0,3361
1,802	1,780	1,1985	1,010	0,6640	0,4921	0,3803
5,001	2,932	1,920	1,555	0,9829	0,7094	0,5000
10,01	6,638	3,949	2,723	1,869	1,352	0,8140
16,13	22,52	12,23	7,580	3,960	2,580	1,540
20,07	136,35	44,72	21,73	8,529	4,998	2,970
30,10	—	—	412,0	72,87	26,61	13,20

	$\eta \cdot 10^3$					
0	1,402	0,9306	0,8512	0,5843	0,4304	0,3361
1,802	1,780	1,1985	1,010	0,6640	0,4921	0,3803
5,001	2,932	1,920	1,555	0,9829	0,7094	0,5000
10,01	6,638	3,949	2,723	1,869	1,352	0,8140
16,13	22,52	12,23	7,580	3,960	2,580	1,540
20,07	136,35	44,72	21,73	8,529	4,998	2,970
30,10	—	—	412,0	72,87	26,61	13,20

	$\kappa \cdot 10$					
1,802	0,8275	0,9517	1,057	1,142	1,464	1,515
5,001	2,250	3,637	3,820	5,693	6,719	7,630
10,01	2,860	4,392	5,690	8,540	10,70	12,28
16,13	1,901	3,250	4,680	8,6460	11,78	14,68
20,07	0,8497	1,905	3,040	6,609	9,820	14,86
30,10	—	—	0,4198	1,874	4,303	7,804

LiClO<sub>4</sub> (объемн. доля ПК=0,25) [328]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bX^*$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		
	a	b	X·1000	a	-b·10 <sup>3</sup>
223*	1,0916	0,944	1,004	1,0413	1,187
238	1,0731	0,951	1,990	1,0516	1,179
248	1,0612	0,963	4,980	1,0804	1,153
273	1,0331	0,961	7,509	1,1058	1,135
298	1,0030	0,982	9,960	1,1293	1,135
323	0,9727	1,003	14,94	1,1774	1,071
			20,96	1,2360	1,069
			26,29	1,2865	1,046
			31,20	1,3308	1,015

X·100	Свойства растворов при T, K					
	223	238	248	273	298	323
$\eta \cdot 10^3$						
1,004	2,689	1,695	1,393	0,9049	0,5650	0,4811
1,990	3,094	1,887	1,589	0,9849	0,6915	0,5276
4,980	4,617	2,945	2,376	1,365	0,9330	0,7090
7,509	7,568	4,356	3,288	1,846	1,225	0,9174
9,960	14,03	6,589	4,890	2,521	1,630	1,180
14,94	51,26	18,21	12,24	5,320	3,260	2,034
20,96	—	101,5	52,46	16,16	8,130	5,049
26,29	—	666,0	312,0	55,65	20,12	10,18
31,20	—	3952	1272	156,4	46,72	20,06

 $\kappa \cdot 10$ 

1,004	1,128	1,638	1,914	2,646	3,299	3,907
1,990	1,798	2,625	3,082	4,282	5,343	6,370
4,980	2,859	4,161	4,994	7,240	9,300	11,28
7,509	2,802	4,422	5,503	8,345	11,05	13,62
9,960	2,437	4,263	5,510	8,675	11,87	14,88
14,94	1,283	2,877	3,976	7,440	11,15	14,81
20,96	—	1,026	1,697	4,407	7,918	11,78
26,29	—	0,3858	0,5221	2,065	4,675	8,157
31,20	—	0,0602	0,1518	0,9108	2,594	5,316

LiClO<sub>4</sub> (объемн. доля ПК=0,50) [328]

T, K	$\rho \cdot 10^{-3} = a + bX^*$		$\rho \cdot 10^{-3} = a + bt$		
	a	b	X·100	a	-b·10 <sup>3</sup>
223*	1,1571	0,849	0,989	1,1098	1,130
238	1,1399	0,854	1,997	1,1172	1,115
248	1,1291	0,856	5,015	1,1447	1,096
273	1,1009	0,868	7,460	1,1662	1,083
298	1,0731	0,880	10,26	1,1894	1,060
323	1,0443	0,896	14,92	1,2315	1,051
			19,93	1,2751	1,038
			24,11	1,3100	1,007
			30,06	1,3614	0,966

Свойства растворов при T, K

X·100	Свойства растворов при T, K					
	223	238	248	273	298	323
$\eta \cdot 10^3$						
0,989	6,568	3,349	2,620	1,491	1,008	0,7386
1,997	7,230	3,922	2,997	1,700	1,110	0,8126

X·100	Свойства растворов при T, K					
	223	238	248	273	298	323
5,015	13,98	6,569	4,816	2,296	1,542	1,098
7,460	28,40	10,43	7,181	3,399	2,065	1,433
10,26	51,47	18,95	12,42	5,197	2,959	2,039
14,92	273,8	42,33	37,37	12,62	6,402	3,720
19,93	4094	406,8	171,1	34,97	14,20	7,099
24,11	—	4195	879,0	106,8	34,69	13,91
30,06	—	—	7626	487,8	100,6	35,46

 $\kappa \cdot 10$ 

0,989	0,7547	1,322	1,675	2,741	3,853	4,983
1,997	1,203	2,157	2,743	4,518	6,283	8,069
5,015	1,594	3,090	4,050	6,969	9,978	12,96
7,460	1,303	3,014	4,100	7,503	11,06	14,60
10,26	1,000	2,456	3,514	7,004	10,84	14,73
14,92	0,3133	1,212	1,976	4,938	8,644	12,60
19,93	0,0518	0,3461	0,6811	2,603	5,502	9,085
24,11	—	—	0,1976	1,175	3,243	6,358
30,06	—	—	0,0354	0,3904	1,526	3,763

\* Справедливо до 20% (мольн.) LiClO<sub>4</sub>; стандартное отклонение не превышает 0,1%.

## Бутиролактон — 1,1-диметоксиэтан

LiClO<sub>4</sub> (298 K) [204]

c·10 <sup>3</sup>	$\kappa \cdot 10^6$	c·10 <sup>3</sup>	$\kappa \cdot 10^6$	c·10 <sup>3</sup>	$\kappa \cdot 10^6$	c·10 <sup>3</sup>	$\kappa \cdot 10^6$
-------------------	---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	---------------------

 $X_{\text{ДМЭ}} = 0,3998; \eta \cdot 10^3 = 0,858; \varepsilon = 24,25$ 

0,5446	32,23	3,092	156,9	45,17	1394	385,7	4761
0,9169	52,67	3,578	180,95	66,23	1813	525,0	4794
1,346	73,37	6,477	310,6	100,3	2446	713,9	5233
2,271	119,3	11,93	513,1	123,3	2684	939,6	5838
2,665	138,0	18,16	710,5	158,9	3157	1103	5551

 $X_{\text{ДМЭ}} = 0,4957; \eta \cdot 10^3 = 0,735; \varepsilon = 20,50$ 

0,0791	5,47	1,958	106,1	15,36	555,1	151,2	2703
0,1182	12,48	2,370	124,2	32,41	980,0	599,2	4485
0,2764	17,97	2,937	150,1	72,49	1688	887,6	4417
0,5801	35,93	3,549	174,2	104,9	2271	1034	4372
0,8688	51,57	6,500	291,7	112,5	2293	1216	4210
1,455	81,50	9,147	377,2	—	—	—	—

Продолжение

с·10 <sup>3</sup>		κ·10 <sup>6</sup>		с·10 <sup>3</sup>		κ·10 <sup>6</sup>		с·10 <sup>3</sup>		κ·10 <sup>6</sup>	
$X_{DMЭ}=0,6000; \eta \cdot 10^3=0,625; \varepsilon=16,55$											
0,0668	4,95	3,497	166,5	70,82	1524	650,5	4257				
0,2848	19,14	10,14	355,5	108,1	2031	793,6	4189				
0,5205	33,41	20,19	597,0	213,1	2670	996,4	4293				
0,9551	55,39	43,03	1115	346,8	3331						
$X_{DMЭ}=0,8044; \eta \cdot 10^3=0,475; \varepsilon=9,80$											
0,0296	1,93	7,878	75,73	29,51	147,7	366,1	1463				
0,0644	3,52	10,64	93,09	30,93	207,7	627,6	2163				
0,1468	6,22	13,33	108,03	62,18	370,2	769,6	2418				
0,2643	9,31	16,28	123,9	204,6	945,2	921,5	2794				
$X_{DMЭ}=0,8994; \eta \cdot 10^3=0,425; \varepsilon=7,00$											
0,0285	0,49	1,0765	3,74	11,62	17,33	65,13	89,63				
0,0484	0,66	1,795	5,11	18,44	25,15	88,88	129,5				
0,0674	0,79	1,830	5,12	25,73	33,92	142,4	208,9				
0,1462	1,19	3,157	6,87	32,44	43,61	394,6	591,4				
0,2063	1,46	4,330	8,58	41,89	55,33	690,7	1011				
0,3319	1,88										

Бутиролактон — глим

LiBF<sub>4</sub> [308]

X·100	при 248 К			при 273 К			при 298 К			при 323 К		
	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$

Объемная доля БЛ=0,2514

0	0,9892	1,30	0,9620	0,86	0,9371	0,60	0,9103	0,46				
2,935	1,0118	1,73	2,52	0,9848	1,06	3,12	0,9595	0,74	3,53	0,9328	0,53	3,85
4,367	1,0229	2,03	3,21	0,9959	1,24	4,08	0,9705	0,83	4,71	0,9439	0,61	5,19
6,719	1,0411	2,64	4,03	1,0141	1,51	5,41	0,9886	0,97	6,48	0,9621	0,70	7,38
9,048	1,0592	3,52	4,39	1,0322	1,93	6,23	1,0066	1,18	7,81	0,9802	0,83	9,18
14,44	1,1010	7,72	4,06	1,0740	3,61	6,91	1,0480	2,01	9,65	1,0220	1,33	12,1
18,84	—	—	—	1,1081	6,59	6,14	1,0815	3,23	9,60	1,0561	2,00	13,0
20,06	—	—	—	1,1176	7,60	5,99	1,0912	3,67	9,57	1,0656	2,17	13,2

Объемная доля БЛ=0,5008

0	1,0690	2,18	1,0351	1,32	1,0030	0,92	0,9620	0,66				
4,366	1,0882	3,50	3,70	1,0615	1,94	5,48	1,0363	1,26	7,07	1,0091	0,91	8,44
5,641	1,0938	4,07	4,08	1,0693	2,17	6,18	1,0460	1,39	8,08	1,0229	0,99	9,79
9,190	1,1094	6,41	4,31	1,0908	3,15	7,07	1,0730	1,93	9,70	1,0611	1,30	12,2
9,986	1,1130	7,19	4,25	1,0957	3,43	7,13	1,0792	2,08	9,90	1,0698	1,40	12,5
10,24	1,1141	7,44	4,22	1,0973	3,58	6,10	1,0811	2,12	9,91	1,0725	1,52	12,6
12,58	1,1244	10,7	3,81	1,1115	4,70	6,93	1,0989	2,68	10,0	1,0978	1,77	13,0
16,12	1,1400	19,7	2,93	1,1331	7,61	6,14	1,1261	3,85	9,74	1,1360	2,43	13,3

Пропиленкарбонат — глим

LiBF<sub>4</sub> [90]

X·100	при 248 К			при 273 К			при 298 К			при 323 К		
	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$	$\rho \cdot 10^{-3}$	$\eta \cdot 10^3$	$\kappa \cdot 10$

Объемная доля ПК=0,2524

0	1,0051	1,46	—	0,9831	0,96	—	0,9558	0,65	—	0,9303	0,492	—
1,693	1,0172	1,75	—	0,9947	1,07	2,98	0,9678	0,74	3,51	0,9418	0,548	3,78
4,338	1,0362	2,32	—	1,0143	1,32	5,08	0,9874	0,89	6,15	0,9614	0,649	6,90
5,067	1,0415	2,50	—	1,0195	1,40	5,46	0,9928	0,94	6,71	0,9668	0,679	7,63
6,021	1,0484	2,79	—	1,0264	1,52	5,90	0,9999	1,02	7,26	0,9738	0,722	8,39
7,208	1,0570	3,24	—	1,0349	1,68	6,31	1,0086	1,12	7,92	0,9826	0,782	9,35
8,274	1,0646	3,71	—	1,0426	1,87	6,53	1,0165	1,22	8,38	0,9904	0,843	10,1
9,581	1,0740	4,33	—	1,0520	2,13	6,71	1,0260	1,34	8,98	1,0000	0,926	10,8
11,34	—	—	—	1,0646	2,50	6,88	1,0388	1,55	9,35	1,0132	1,046	11,7

Объемная доля ПК=0,6002

0	1,1290	3,69	—	1,1029	2,10	—	1,0770	1,29	—	1,0498	0,89	—
3,343	1,1507	5,57	2,53	1,1245	2,87	4,48	1,0985	1,67	6,44	1,0719	1,13	8,31
4,355	1,1573	6,40	2,79	1,1310	3,24	5,05	1,1050	1,81	7,33	1,0786	1,22	9,46
6,704	1,1725	9,10	2,91	1,1461	4,08	5,72	1,1201	2,19	8,45	1,0940	1,40	11,3
9,086	1,1880	12,6	2,77	1,1615	5,25	5,72	1,1354	2,70	8,84	1,1095	1,71	12,0
10,10	1,1946	14,7	2,66	1,1680	5,98	5,60	1,1420	2,95	8,88	1,1163	1,85	12,1
13,15	1,2144	24,9	2,04	1,1876	8,49	4,96	1,1616	4,04	8,43	1,1362	2,43	12,0
15,85	1,2321	42,7	1,53	1,2051	12,6	4,20	1,1792	5,50	7,70	1,1540	3,10	11,5
19,04	1,2527	86,4	0,97	1,2254	19,6	3,42	1,1995	8,10	6,55	1,1746	4,20	10,4

LiClO<sub>4</sub>, KSCN, KPF<sub>6</sub>, Et<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub> [327]

g(ПК)	m	κ·10 при T, К						
		228	238	248	258	268	278	288

LiClO<sub>4</sub>

0,7612	0,17225	0,6807	1,084	1,572	2,133	2,748	3,405	4,089	4,789
	0,36937	0,6895	1,642	2,455	3,401	4,450	5,576	6,749	7,495
	0,74959	0,9590	1,766	2,843	4,158	5,664	7,317	9,066	10,871
	0,86234	0,8705	1,665	2,760	4,119	5,696	7,440	9,298	11,225
	1,1746	0,6125	1,309	2,347	3,708	5,352	7,225	9,264	11,414
0,5132	1,448	0,3887	0,942	1,841	3,099	4,686	6,551	8,629	10,864
	0,4083	2,079	3,030	4,096	5,216	6,417	7,600	8,784	9,914
	0,6427	2,204	3,331	4,643	6,119	7,664	9,226	10,807	12,326
	1,0953	1,827	3,034	4,526	6,239	8,104	10,046	12,010	13,948
	1,4125	1,065	2,068	3,532	5,286	7,302	9,492	11,771	14,082
	1,4318	Крист.	Крист.	3,505	5,261	7,280	9,475	11,762	14,088
	1,8940	»	»	Крист.	Крист.	Крист.	7,945	10,241	12,827

Продолжение

$\xi$ (ПК)	$m$	$\times 10$ при $T, K$								
		228	238	248	258	268	278	288	298	
0,4213	0,25308	1,913	2,608	3,353	4,120	4,887	5,636	6,352	7,023	
	0,52022	2,590	3,652	4,815	6,034	7,266	8,479	9,649	10,754	
	0,94715	2,441	3,734	5,239	6,888	8,615	10,370	12,100	13,766	
	1,2346	1,997	3,243	4,798	6,578	8,499	10,500	12,510	14,490	
	1,3785	1,778	2,936	4,478	6,285	8,271	10,360	12,500	14,610	
	1,7183	1,074	2,095	3,516	5,286	7,327	9,553	11,880	14,236	
	0,2814	0,2634	2,263	2,913	3,565	4,192	4,776	5,302	5,764	6,157
	0,5169	3,142	4,146	5,173	6,180	7,122	8,000	8,770	9,463	
	0,7668	3,312	4,532	5,818	7,112	8,366	9,552	10,648	11,650	
	0,9210	3,230	4,526	5,923	7,355	8,765	10,119	11,387	12,554	
	1,2518	2,845	4,195	5,725	7,364	9,042	10,709	12,320	13,851	
1,4300	Крист.	3,752	5,239	7,065	8,868	10,719	12,526	14,265		
1,6172	»	Крист.	4,877	6,655	8,562	10,526	12,488	14,401		
2,3299	»	»	Крист.	Крист.	Крист.	8,639	10,969	13,369		
0,1286	0,23626	2,010	2,401	2,737	3,002	3,190	3,311	3,368	3,372	
0,47175	3,089	3,774	4,386	4,893	5,290	5,583	5,783	5,895		
0,73285	Крист.	4,468	5,359	6,146	6,818	7,370	7,811	8,148		
1,0142	»	Крист.	5,883	6,949	7,912	8,753	9,469	10,083		
1,5137	»	»	Крист.	Крист.	8,511	9,810	11,073	12,195		

KSCN

0,7612	0,27877	0,7859	1,268	1,860	2,545	3,305	4,127	4,990	5,885	
	0,60000	0,8502	1,471	2,273	3,237	4,334	5,542	6,833	8,184	
	0,91000	0,6958	1,307	2,141	3,186	4,414	5,798	7,304	8,903	
	0,99286	0,6434	1,238	2,065	3,114	4,360	5,775	7,324	8,976	
	1,2137	0,5133	1,055	1,848	2,886	4,153	5,590	7,231	9,003	
	1,7699	0,2485	0,6212	1,252	2,167	3,367	4,834	6,535	8,433	
	0,5132	0,3263	1,3455	1,932	2,396	3,316	4,075	4,856	5,642	6,419
		0,6039	1,5092	2,261	3,136	4,106	5,145	6,230	7,335	8,439
		1,0351	1,2720	2,071	3,055	4,200	5,470	6,829	8,245	9,691
		1,4072	0,9401	1,670	2,631	3,798	5,141	6,622	8,206	9,850
		1,6250	0,7514	1,417	2,331	3,480	4,833	6,351	7,994	9,722
		1,7314	0,6674	1,298	2,184	3,315	4,665	6,193	7,859	9,621
		0,4213	0,47780	1,633	2,301	3,045	3,843	4,671	5,512	6,347
0,69305			1,682	2,446	3,317	4,267	5,268	6,295	7,324	8,337
1,2177			1,344	2,150	3,316	4,271	5,518	6,843	8,209	9,588
1,4691	1,107		1,873	2,848	4,006	5,307	6,718	8,196	9,683	
1,5988	0,9841		1,718	2,677	3,834	5,154	6,597	8,125	9,697	
1,7842	0,8160		1,500	2,419	3,564	4,894	6,373	7,953	9,600	
2,0928	0,5737		1,154	1,995	3,090	4,408	5,914	7,563	9,312	

KPF<sub>6</sub>

0,7612	0,15449	0,6130	0,9743	1,412	1,914	2,468	3,061	3,682	4,321
	0,33610	0,9105	1,499	2,228	3,074	4,013	5,021	6,079	7,152
	0,45529	0,9716	1,642	2,485	3,475	4,582	5,772	7,034	8,330
	0,63335	0,9532	1,684	2,631	3,764	5,050	6,454	7,941	9,484
	0,78775	0,8730	1,607	2,589	3,787	5,166	6,688	8,312	10,007
	1,15310	0,6166	1,268	2,208	3,425	4,884	6,545	8,362	10,297

Продолжение

$\xi$ (ПК)	$m$	$\times 10$ при $T, K$							
		228	238	248	258	268	278	288	298
0,4213	0,26869	1,830	2,495	3,213	3,963	4,722	5,478	6,214	6,921
	0,48691	2,321	3,250	4,268	5,340	6,436	7,531	8,602	9,633
	0,74601	2,401	3,493	4,724	6,047	7,418	8,804	10,178	11,513
	1,0474	2,131	3,275	4,612	6,091	7,661	9,278	10,905	12,511
	1,4423	1,584	2,649	3,972	5,506	7,194	8,988	10,838	12,705

Et<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub>

0,7612	0,10906	0,5575	0,8727	1,252	1,687	2,166	2,682	3,225	3,791
	0,19682	0,8544	1,350	1,950	2,640	3,403	4,226	5,095	5,997
	0,37243	1,2320	1,984	2,908	3,980	5,175	6,469	7,841	9,272
	0,46355	1,3480	2,194	3,239	4,461	5,826	7,311	8,885	10,532
	0,56517	1,4350	2,162	3,518	4,876	6,402	8,068	9,843	11,704
	0,97004	Крист.	Крист.	3,947	5,657	7,593	9,736	12,049	14,496
	0,4213	0,19670	1,724	2,337	3,005	3,712	4,443	5,186	5,929
0,2814	0,30457	2,290	3,131	4,051	5,027	6,037	7,066	8,097	9,120
	0,44284	2,716	3,815	4,977	6,217	7,505	8,825	10,154	11,410
	0,52851	2,956	4,116	5,401	6,776	8,217	9,691	11,183	12,643
	0,53849	2,974	4,143	5,438	6,825	8,273	9,760	11,258	12,746
	0,68168	Крист.	4,444	5,922	7,499	9,142	10,819	12,561	14,273
	0,24800	1,255	1,631	2,024	2,424	2,819	3,202	3,563	3,894
	0,70727	1,778	2,443	—	3,923	4,698	5,464	6,204	6,899
	0,94285	1,748	2,483	3,307	4,192	5,106	6,031	6,936	7,801
	1,1399	1,639	2,406	3,284	4,245	5,257	6,293	7,319	8,305
	1,5389	1,295	2,056	2,985	4,046	5,204	6,424	7,669	8,904
1,9615	0,9341	1,627	2,530	3,616	4,851	6,193	7,589	9,029	

LiI, KI (1 M растворы в смешанных растворителях на основе диметилформамида) [329]

Второй компонент*	$\rho \cdot 10^{-3}$ при $T, K$			$\eta \cdot 10^3$ при $T, K$			$\chi$ при $T, K$		
	273	298	323	273	298	323	273	298	323

LiI

Пиридин	1,0745	1,0459	1,0206	3,081	1,830	1,230	9,93	15,9	22,6
Бутиролактон	1,1062	1,0822	1,0578	3,700	2,141	1,401	9,35	15,3	22,2
Пропиленкарбонат	1,1137	1,0898	1,0656	3,860	2,261	1,470	8,68	14,2	20,8
Метилацетат	1,0661	1,0364	1,0163	2,669	1,620	1,140	10,2	16,1	22,8

KI

Пиридин	1,0971	1,0726	1,0479	3,040	1,801	1,210	13,2	20,5	27,7
Бутиролактон	1,1244	1,0999	1,0753	3,591	2,070	1,360	12,7	20,5	28,2
Пропиленкарбонат	1,1446	1,1199	1,0947	4,141	2,390	1,501	11,5	18,5	26,0
Метилацетат	Крист.	1,0740	1,0481	Крист.	1,641	1,151	Крист.	20,7	28,0

\* Объемная доля второго компонента всюду равна 0,2.

LiClO<sub>4</sub> (1 M растворы в различных смешанных растворителях) [329]

Объемн. доля второго компонента	ρ · 10 <sup>-3</sup> при T, К			η · 10 <sup>-3</sup> при T, К			κ при T, К			
	273	298	323	273	298	323	248	273	298	323
<i>Диметилформамид — бутиролактон</i>										
0,8010	1,1760	1,1538	1,1302	6,361	3,478	2,209	0,380	0,745	1,18	1,66
0,5999	1,1422	1,1198	1,0956	5,242	2,960	1,922	0,450	0,870	1,36	1,91
0,3978	1,1076	1,0855	1,0615	4,389	2,561	1,689	0,520	0,992	1,54	2,15
0,1994	1,0749	1,0511	1,0272	3,719	2,228	1,500	0,590	1,10	1,72	2,39
0,0000	1,0393	1,0164	0,9935	3,149	1,937	1,330	0,659	1,23	1,90	2,63
<i>Диметилформамид — пропиленкарбонат</i>										
0,7977	1,2342	1,2088	1,1848	13,28	5,657	3,210	0,184	0,412	0,776	1,19
0,5974	1,1860	1,1608	1,1363	9,307	4,220	2,439	0,250	0,586	1,04	1,55
0,3969	1,1363	1,1122	1,0879	6,597	3,237	1,927	0,370	0,781	1,31	1,91
0,1986	1,0867	1,0640	1,0400	4,692	2,500	1,568	0,510	1,00	1,60	2,27
<i>Пиридин — диметилформамид</i>										
0,8012	1,0445	1,0220	0,9981	3,176	1,945	1,331	0,640	1,19	1,82	2,50
0,6044	1,0499	1,0278	1,0048	3,220	1,961	1,320	0,615	1,13	1,72	2,34
0,4044	1,0553	1,0336	1,0105	3,271	1,995	1,313	0,571	1,04	1,66	2,12
0,2033	1,0604	1,0380	1,0161	3,370	2,040	1,325	0,506	0,910	1,32	1,78
<i>Пиридин — ацетонитрил</i>										
0,8008	0,9120	0,8889	0,8616	0,9979	0,7010	0,5260	1,53	2,16	2,80	3,27
0,5998	0,9497	0,9268	0,9014	1,258	0,8529	0,6222	1,23	1,78	2,33	2,77
0,3994	0,9891	0,9661	0,9418	1,634	1,075	0,7634	0,950	1,40	1,87	2,24
0,2081	1,0269	1,0055	0,9813	2,284	1,417	0,9763	0,648	1,02	1,40	1,69
<i>Пиридин — бутиролактон</i>										
0,8000	1,1825	1,1582	1,1342	6,641	3,601	2,270	0,327	0,645	1,02	1,43
0,5995	1,1540	1,1308	1,1203	5,680	3,119	1,979	0,339	0,668	1,03	1,44
0,3968	1,1241	1,1021	1,0781	4,830	2,681	1,741	0,356	0,685	1,04	1,42
0,1991	1,0955	1,0740	1,0450	4,131	2,360	1,530	0,380	0,690	1,01	1,30
<i>Пиридин — пропиленкарбонат</i>										
0,0965	—	—	—	—	—	—	0,350	0,645	0,945	1,19
0,2000	1,1098	1,0883	1,0641	4,601	2,469	1,481	0,308	0,610	0,931	1,25
0,2967	—	—	—	—	—	—	0,275	0,570	0,890	1,24
0,3984	1,1521	1,1304	1,1060	6,049	3,151	1,832	0,234	0,512	0,839	1,19
0,6069	1,1960	1,1735	1,1488	8,300	4,102	2,403	0,172	0,415	0,729	1,08
0,7964	1,2399	1,2150	1,1904	12,31	5,629	3,246	0,120	0,323	0,614	0,955
<i>Метилацетат — диметилформамид</i>										
0,7993	1,0368	1,0121	0,9883	2,491	1,580	1,121	0,745	1,31	1,95	2,63
0,6080	1,0344	1,0087	0,9835	2,003	1,311	0,9512	0,777	1,31	1,90	2,50
0,4004	1,0320	1,0052	0,9780	1,636	1,102	0,8051	0,714	1,18	1,66	2,13
0,2000	1,0295	1,0012	0,9731	1,331	0,9068	0,6749	0,551	0,846	1,18	1,51
0,0000	1,0276	0,9982	0,9685	0,9720	0,6973	0,5225	0,357	0,477	0,555	0,650

Объемн. доля второго компонента	ρ · 10 <sup>-3</sup> при T, К			η · 10 <sup>-3</sup> при T, К			κ при T, К			
	273	298	323	273	298	323	248	273	298	323
<i>Метилацетат — пиридин</i>										
0,8006	1,0584	1,0362	1,0119	2,830	1,730	1,160	0,427	0,682	0,902	1,08
0,5984	1,0505	1,0270	1,0008	2,231	1,393	0,9811	0,438	0,677	0,865	1,02
0,3997	1,0430	1,0173	0,9900	1,763	1,115	0,8020	0,430	0,610	0,792	0,920
0,2023	1,0351	1,0076	0,9795	1,320	0,8801	0,6581	0,402	0,575	0,690	0,798
<i>Метилацетат — ацетонитрил</i>										
0,8014	0,9045	0,8782	0,8520	0,8513	0,6152	0,4671	1,64	2,24	2,77	3,23
0,5971	0,9368	0,9090	0,8821	0,8872	0,6341	0,4772	1,37	1,88	2,26	2,65
0,3990	0,9684	0,9398	0,9116	0,9200	0,6533	0,4909	1,06	1,47	1,74	2,02
0,1982	0,9982	0,9696	0,9409	0,9411	0,6751	0,5078	0,752	1,01	1,19	1,36
<i>Метилацетат — нитробензол</i>										
0,1990	1,0781	1,0490	1,0209	1,415	0,9587	0,7181	0,332	0,482	0,585	0,699
0,3962	1,1272	1,0984	1,0710	2,163	1,366	0,9877	0,262	0,411	0,535	0,654
0,6002	1,1766	1,1485	1,1216	3,201	1,909	1,293	0,163	0,276	0,379	0,478
<i>Метилацетат — этилацетат</i>										
0,2004	1,0199	0,9906	0,9608	1,014	0,7101	0,5359	0,321	0,431	0,507	0,589
0,3992	1,0123	0,9840	0,9544	1,068	0,7408	0,5550	0,283	0,389	0,461	0,536
0,5985	1,0047	0,9772	0,9482	1,137	0,7847	0,5780	0,242	0,351	0,420	0,487
0,8077	0,9980	0,9701	0,9411	1,227	0,8320	0,6071	0,220	0,314	0,381	0,441
1,0000	0,9908	0,9636	0,9350	1,324	0,8906	0,6452	0,198	0,280	0,346	0,398
<i>Метилацетат — бутиролактон</i>										
0,7995	1,1780	1,1522	1,1283	4,686	2,686	1,770	0,410	0,749	1,18	1,60
0,6016	1,1476	1,1182	1,0935	3,043	1,869	1,281	0,489	0,840	1,24	1,59
0,3990	1,1121	1,0824	1,0562	2,019	1,315	0,9312	0,543	0,869	1,18	1,46
0,2001	1,0734	1,0448	1,0170	1,422	0,9855	0,6871	0,502	0,726	0,924	1,14
<i>Метилацетат — пропиленкарбонат</i>										
0,7983	1,2341	1,2090	1,1809	8,911	4,300	2,574	0,169	0,431	0,774	1,15
0,5983	1,1847	1,1586	1,1303	4,702	2,525	1,584	0,310	0,621	1,01	1,42
0,3993	1,1355	1,1081	1,0800	2,533	1,540	1,067	0,455	0,811	1,16	1,49
0,1992	1,0861	1,0562	1,0264	1,541	1,014	0,7435	0,548	0,838	1,07	1,28
<i>Бутиролактон — нитробензол</i>										
0,1993	1,2245	1,2008	1,1776	8,921	4,325	2,490	0,230	0,491	0,809	1,15
0,4003	1,2379	1,2142	1,1908	9,532	4,452	2,489	0,143	0,362	0,605	0,875
0,6017	1,2514	1,2281	1,1771	9,899	4,525	2,528	Крист.	0,233	0,404	0,589
<i>Бутиролактон — хлорбензол</i>										
0,2004	1,2075	1,1840	1,1602	6,900	3,680	2,321	0,255	0,545	0,856	1,18
0,3979	1,2043	1,1802	1,1562	6,049	3,301	2,110	0,198	0,417	0,640	0,885
0,6009	1,2015	1,1769	1,1520	5,201	2,902	1,877	0,119	0,232	0,349	0,471

LiClO<sub>4</sub> (электропроводность 1 M растворов в двойных смешанных растворителях)

Объемн. доля второго компонента	κ при T, K				Объемн. доля второго компонента	κ при T, K			
	248	273	298	323		248	273	298	323
<i>Пиридин — диметилсульфоксид</i>					<i>Бутиролактон — диглим</i>				
0,1990	0,400	0,772	1,21	1,59	0,2009	0,291	0,605	1,00	1,40
0,3880	0,371	0,767	1,26	1,79	0,3940	0,262	0,564	0,933	1,31
0,5994	0,305	0,689	1,20	1,79	<i>Бутиролактон — тетрагидрофуран</i>				
1,0000	Крист.	Крист.	0,984	1,57	0,1976	0,414	0,752	1,15	1,58
<i>Пиридин — диглим</i>					0,3980	0,481	0,810	1,18	1,56
0,2115	0,295	0,558	0,806	1,01	0,5911	0,528	0,798	1,09	1,39
0,4099	0,228	0,480	0,707	0,920	0,7996	0,484	0,704	0,923	1,12
<i>Ацетонитрил — ГМФА</i>					<i>Пропиленкарбонат — ацетонитрил</i>				
0,0976	1,61	2,27	2,91	3,49	0,0000	0,0790	0,253	0,518	0,844
<i>Метилацетат — диметилсульфоксид</i>					0,1971	0,236	0,526	0,911	1,32
0,1973	0,265	0,560	0,827	1,11	0,3931	0,436	0,856	1,33	1,82
0,3972	0,442	0,842	1,28	1,74	<i>Пропиленкарбонат — нитробензол</i>				
0,5862	0,411	0,843	1,38	1,99	0,1991	0,0648	0,213	0,431	0,710
0,7863	Крист.	0,691	1,24	1,88	0,4024	0,0509	0,171	0,343	0,571
<i>Метилацетат — глим</i>					<i>Пропиленкарбонат — диглим</i>				
0,3010	Крист.	0,585	0,672	0,727	0,2013	0,133	0,396	0,778	1,23
<i>Метилацетат — диглим</i>					0,4088	0,173	0,477	0,894	1,36
0,2026	0,338	0,480	0,581	0,672	<i>Пропиленкарбонат — хлорбензол</i>				
0,4022	0,321	0,488	0,611	0,712	0,1972	0,0886	0,238	0,476	0,764
<i>Бутиролактон — ацетонитрил</i>					0,3961	0,0762	0,193	0,385	0,671
0,0000	0,314	0,629	1,01	1,42	<i>Пропиленкарбонат — тетрагидрофуран</i>				
0,4988	0,908	1,46	1,99	2,47	0,1946	0,168	0,407	0,726	1,09
1,000	Крист.	2,54	3,21	3,76	0,3858	0,282	0,561	0,894	1,26
<i>LiClO<sub>4</sub> (1 M растворы в смешанном растворителе пропиленкарбонат — глим) [329]</i>					0,5971	0,413	0,702	1,02	1,36
					0,8012	0,483	0,722	0,959	1,22

Объемн. доля второго компонента	κ при T, K					
	223	238	248	273	298	323
0,0000	0,00681	0,0402	0,0793	0,255	0,520	0,847
0,1894	0,0309	0,110	0,187	0,507	0,906	1,32

Продолжение

Объемн. доля второго компонента	κ при T, K					
	223	238	248	273	298	323
0,4998	0,1490	0,331	0,459	0,862	1,28	1,68
0,6209	0,1570	0,336	0,467	0,880	1,29	1,65
0,7024	Крист.	Крист.	0,447	0,840	1,25	1,50
0,7655	»	»	Крист.	Крист.	1,20	1,47

LiClO<sub>4</sub> (1 M растворы в тройных смешанных растворителях I—II—III)

Объемн. доли компонентов			κ при T, K			
I	II	III	248	273	298	323

*АН — БЛ — ГМФА*

0,80	0,15	0,05	1,40	2,01	2,57	3,08
0,7	0,2	0,1	1,21	1,80	2,37	2,91

*АН — БЛ — Py*

0,7	0,1	0,2	1,33	1,92	2,47	2,95
0,6	0,2	0,2	1,17	1,73	2,27	2,76

*АН — Py — ГМФА*

0,8	0,15	0,05	1,51	2,13	2,72	3,24
-----	------	------	------	------	------	------

*АН — Py — MeAc*

0,5	0,2	0,3	1,13	1,61	2,02	2,40
-----	-----	-----	------	------	------	------

*АН — ПК — ГМФА*

0,8	0,15	0,05	1,29	1,91	2,53	3,10
0,7	0,2	0,1	0,958	1,56	2,18	2,77

*АН — ПК — Py*

0,7	0,1	0,2	1,26	1,84	2,40	2,89
0,6	0,2	0,2	1,00	1,51	2,05	2,54
0,5	0,3	0,2	0,754	1,24	1,72	2,17

*MeAc — ДМФА — Py*

0,5	0,4	0,1	0,695	1,14	1,59	2,07
0,4	0,5	0,1	0,721	1,20	1,70	2,25
0,3	0,6	0,1	0,725	1,24	1,80	2,40
0,2	0,7	0,1	0,714	1,24	1,83	2,45

Продолжение

Объемн. доли компонентов			κ при T, K					
I	II	III	223	238	248	273	298	323

ПК — глим — MeAc

0,2	0,2	0,6	0,329	0,554	0,680	1,02	1,31	1,54
0,2	0,4	0,4	Крист.	Крист.	0,655	0,959	1,21	1,39
0,25	0,50	0,25	0,285	0,512	0,640	0,966	1,28	1,50
0,25	0,40	0,35	0,267	—	0,661	1,09	1,48	1,81
0,25	0,30	0,45	0,295	—	0,678	1,09	1,46	1,76
0,25	0,25	0,50	0,237	0,514	0,672	1,09	1,46	1,78
0,20	0,30	0,50	0,259	—	0,599	0,944	1,27	1,54

ПК — глим — EtAc

0,2	0,4	0,4	0,249	0,392	0,475	0,685	0,851	0,972
0,25	0,50	0,25	Крист.	0,422	0,535	0,848	1,12	1,33

ГЛАВА 4

### РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ПРЕДЕЛЬНОМ РАЗБАВЛЕНИИ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ $\lambda_0\eta_0$

Изучению влияния природы электролита и растворителя на так называемое вальденовское произведение (произведение предельной молярной электропроводности на вязкость среды — ВП) уделялось много внимания на протяжении всего периода исследований электролитных растворов [42, 47, 147, 148]. Повышенный интерес к данной проблеме не случаен, так как здесь тесно переплетаются все узловые вопросы теории электролитных растворов, связанные со структурой жидкости, механизмами транспортных процессов, ионной сольватации и комплексобразования.

Важную роль в развитии теоретических представлений в этой области сыграло правило Вальдена о постоянстве величины  $\lambda_0\eta_0$  для одного электролита в разных растворителях. Однако до настоящего времени нет установившегося мнения относительно пределов его применимости. Было приведено немало примеров, свидетельствующих об отступлении от этого правила, предложены эмпирические уравнения типа [330, 331]

$$\lambda_0\eta_0 = A \exp(-\text{const}/\epsilon),$$

постулирующие экспоненциальную зависимость ВП от величины обратной диэлектрической проницаемости среды. В некоторых недавно опубликованных работах [142, 223, 332] утверждается, что правило Вальдена распространяется на все крупные ионы (например, тетраалкиламмониевые катионы, начиная с  $\text{Pr}_4\text{N}^+$ ), в других же работах такое утверждение, напротив, оспаривается [333]. В связи с этим данная проблема требует подробного рассмотрения и анализа.

Прежде всего следует отметить, что правомерность выводов о закономерностях изменения ВП в растворах электролитов прямо связана со степенью достоверности определения входящих в него сомножителей, в первую очередь величины  $\lambda_0^*$ .

Для высокополярных растворителей ( $\epsilon > 40$ ), в которых, как правило, ассоциация ионофоров незначительна, зависимость  $\lambda - \sqrt{c}$  близка к линейной. Это позволяет проводить вполне надежную экстраполяцию величин  $\lambda$  к нулевой концентрации. Поэтому значения предельной молярной электропроводности, рассчитываемые по любому из перечисленных в разд. 2.3.3.1 уравнений, независимо от выбранного концентрационного интервала, в пределах погрешности эксперимента совпадают друг с другом. Это неоднократно демонстрировалось на примере водных растворов электролитов [147, 148]. Однако по мере уменьшения  $\epsilon$  растворителей (обуславливающего рост  $K_{ac}$  ионофоров) зависимость  $\lambda - \sqrt{c}$  (либо  $1/\lambda - \lambda c$ ) все больше отклоняется от линейной. Следствием этого является существенное уменьшение достоверности получаемых экстраполяцией величин  $\lambda_0$ , поскольку последние уже сильно зависят от выбранного для исследования концентрационного интервала [6, 334]. В таких случаях для растворителей со средними  $\epsilon$  предлагается [148], используя закон Кольрауша о независимости движения ионов ( $\lambda_0 = \Sigma \lambda_0^\pm$ ), определять действительные величины  $\lambda_0$  с помощью менее ассоциированных электролитов, для которых в области очень низких, но еще доступных в экспериментальном отношении концентраций зависимость  $\lambda - \sqrt{c}$  выходит на линейный участок. В низкополярных растворителях ( $\epsilon < 10$ ) подавляющее большинство электролитов сильно ассоциировано и кривизна зависимости  $\lambda - \sqrt{c}$  ( $1/\lambda - \lambda c$ ) выражена настолько резко, что, по мнению авторов работы [148], в таких растворителях величину  $\lambda_0$  в принципе нельзя определить (попутно отметим, что следствием этого является невозможность достоверного определения  $K_{ac}$  электролита).

\* О погрешности измерений вязкости см. разд. 5.2. В высокополярных растворителях, для которых величина  $\lambda_0$  определяется достаточно надежно, суммарная погрешность расчета величин  $\lambda_0\eta_0$ , как об этом свидетельствует анализ литературных данных, обычно не превышает 5%.



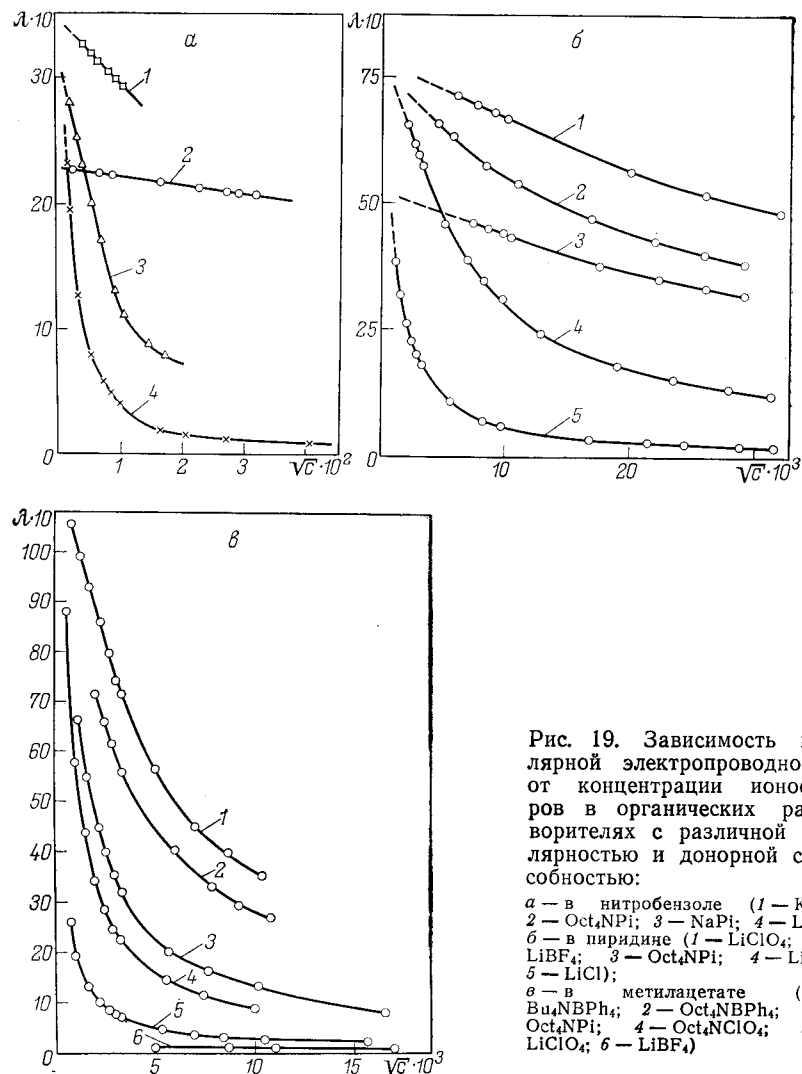


Рис. 19. Зависимость молярной электропроводности от концентрации ионофоров в органических растворителях с различной полярностью и донорной способностью:

*a* — в нитробензоле (1 —  $KPI$ ; 2 —  $Oct_4NPI$ ; 3 —  $NaPI$ ; 4 —  $LiPI$ );  
*б* — в пиридине (1 —  $LiClO_4$ ; 2 —  $LiBF_4$ ; 3 —  $Oct_4NPI$ ; 4 —  $LiBr$ ; 5 —  $LiCl$ );  
*в* — в метилацетате (1 —  $Bu_4NPh_4$ ; 2 —  $Oct_4NPh_4$ ; 3 —  $Oct_4NPI$ ; 4 —  $Oct_4NClO_4$ ; 5 —  $LiClO_4$ ; 6 —  $LiBF_4$ )

На вид зависимости  $\lambda - \sqrt{c}(1/\lambda - \lambda c)$  помимо  $\epsilon$  оказывает влияние природа ионофора и сольватирующая способность растворителя (рис. 19). Так, в нитробензоле ( $DN=4,4$ ), несмотря на его достаточно высокую  $\epsilon$ , некоторые соли, в частности соли лития, ведут себя как очень слабые электролиты. В этом случае, как отмечалось выше, величина  $\lambda_0$  может быть получена косвенным путем (сложением соответствующих ионных подвижностей). Возможность успешного использования

этой методики для растворителей с  $\epsilon < 10$  была продемонстрирована на примере растворов ряда солей в ТГФ [205] и МеАс [334]. Показано [205, 334], что для солей с крупными ионами ( $Bu_4NPh_4$ ,  $Oct_4NPh_4$ ) значения  $\lambda_0 \eta_0$  в низкополярных и высокополярных апротонных растворителях практически совпадают (расхождение для каждого электролита не превышает 3—4%).

Однако в неполярных растворителях ( $\epsilon < 4$ ) определить действительное значение  $\lambda_0$  электролитов нельзя ни по одному из имеющихся уравнений электропроводности, так как необходимый для надежной экстраполяции концентрационный интервал сдвинут в область таких разбавлений, которые находятся за пределами экспериментальных возможностей кондуктометрической методики. Аналогичные сложности возникают и в случае растворителей с более высокой  $\epsilon$ , но недостаточной донорной способностью (НАс, ДХЭ, *o*-ДХБ и т. п.).

Как известно, зависимость молярной электропроводности слабых электролитов от концентрации подчиняется уравнению Оствальда, которое в логарифмической форме может быть представлено в виде

$$\lg \lambda = \lg \lambda_0 - 1/2 \lg K_{дис} + 1/2 \lg (1 - \frac{\lambda}{\lambda_0}) - 1/2 \lg c. \quad (4.1)$$

Для многих солей в растворителях с низкими  $\epsilon$  зависимость  $\lg \lambda - \lg c$  строго линейна, тангенс угла наклона близок к 0,5. Этот факт прямо указывает на то, что в изученном концентрационном интервале значения  $\lambda$  очень сильно отличаются от предельной молярной электропроводности, поскольку член  $\lg(1 - \lambda/\lambda_0)$  в уравнении (4.1) близок к нулю. В этом случае определить прямым кондуктометрическим экспериментом действительное значение  $\lambda_0$  нельзя и необходимо прибегать к косвенным методам. Игнорирование этого обстоятельства является причиной расхождений в приводимых в литературе значениях  $\lambda_0$  и  $K_{ас}$  электролитов в средах с низкими  $\epsilon$ . Так, для  $LiClO_4$  в ТГФ, по данным [205],  $\lambda_0 = 117,55$  при  $K_{ас} = 2,5 \cdot 10^7$ , в то время как по данным [335] эти значения равны соответственно 9,5 и  $6,9 \cdot 10^4$ . В работе [336] для 2-фенилэтинтиолата калия в ТГФ приводятся значения  $\lambda_0 = 0,19$  и  $K_{ас} = 72$ ; по данным же работы [337] подвижность одного только иона калия в этом растворителе составляет 49,8, а  $K_{ас}$  такой соли, как  $KPh_4$  (с очень крупным анионом симметричного строения), равна  $3,1 \cdot 10^4$ .

Как показано в работах [6, 205, 334, 338], в тех случаях, когда из экспериментальных данных определить истинное значение  $\lambda_0$  невозможно, целесообразно применять правило Вальдена. Это позволяет верно оценивать  $K_{ас}$ . Формальный же путь, заключающийся в использовании для расчета  $K_{ас}$  кажущейся

щихся значений  $\lambda_0$ , неминуемо приводит к огромной погрешности, часто достигающей нескольких порядков.

В случае растворов ионогенов к перечисленным выше сложностям определения предельной молярной электропроводности добавляются еще затруднения, связанные с неполной ионизацией образующихся продуктов присоединения. Общая кондуктометрическая константа в системах с ионогенами определяется выражением

$$K_{\text{конд}} = \frac{K_{\text{пр}}K_{\text{ион}}K_{\text{дис}}}{1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{пр}}K_{\text{ион}}},$$

где  $K_{\text{пр}}$ ,  $K_{\text{ион}}$ ,  $K_{\text{дис}}$  — константы равновесия отдельных стадий процесса взаимодействия (образования продукта присоединения, его ионизации и электролитической диссоциации).

В таких системах электропроводность обусловлена, прежде всего, стадией образования ионизированного комплекса (ионофора). При небольшом различии в кислотно-основных свойствах исходных компонентов выход ионизированного комплекса незначителен. Поскольку при расчете молярной электропроводности  $\lambda$  вместо равновесной концентрации ионизированного комплекса пользуются исходной концентрацией ионогена, это приводит к заниженным значениям  $\lambda$ . Вот почему определяемые из концентрационной зависимости молярной электропроводности кажущиеся значения  $\lambda_0$  обычно далеки от действительных значений предельной молярной электропроводности ионогена даже в растворителях с очень высокой  $\epsilon$ . Именно по этой причине в случае систем с ионогенами необходимость использования косвенных методов определения  $\lambda_0$  (закон Кольрауша, правило Вальдена) возникает значительно чаще, чем в случае систем с ионофорами.

Таким образом, формальный подход к определению величин  $\lambda_0$  электролитов с помощью кондуктометрической методики в растворителях с низкой, а иногда и средней  $\epsilon$  (если при этом не сопоставлять полученные значения с радиусами и подвижностями соответствующих ионов в высокополярных растворителях) может привести к необоснованным выводам относительно характера изменения ВП в зависимости от тех или иных параметров растворителя, в частности, к выводам о существовании экспоненциальной зависимости между  $\lambda_0\eta_0$  и обратной диэлектрической проницаемостью.

Теоретической основой правила Вальдена является, как известно, закон Стокса [147], который может быть записан в виде

$$\lambda_0\eta_0 = \frac{10^7 z_i F^2 / N_A}{r_{\text{st}}}, \quad (4.2)$$

где  $r_{\text{st}}$  — радиус частицы, мигрирующей под действием градиента электрического потенциала.

После подстановки значений входящих в уравнение (4.2) констант (в единицах СИ) для одновалентных ионов получаем:

$$\lambda_0\eta_0 r_{\text{st}} = 8,194 \cdot 10^{-19}. \quad (4.3)$$

Очевидно, что радиус мигрирующей частицы (иона) будет оставаться неизменным при переходе от растворителя к растворителю лишь в том случае, если отсутствует взаимодействие ион — растворитель, т. е. отсутствуют все сольватационные и структурные эффекты. Очевидно также, что в реальной действительности это условие соблюдается редко (крупные ионы в неассоциированных растворителях).

Отклонения от постоянного значения часто связывают с влиянием  $\epsilon$  на величину эффективного радиуса мигрирующего иона (т. е. на величину  $r_{\text{st}}$ ). Фуосс на основании изучения электропроводности растворов ряда солей в смешанных органических растворителях пришел к выводу о том, что

$$r_{\text{st}} = r_0 + B/\epsilon,$$

где  $r_0$  — постоянная для данного иона величина, свободная от влияния диэлектрической проницаемости.

Отметим, что это уравнение предусматривает линейную зависимость обратного вальденовского произведения от  $1/\epsilon$ . Анализ литературных данных свидетельствует о том, что в индивидуальных растворителях не только отсутствует прямолинейная зависимость в координатах  $1/\lambda_0\eta_0 - 1/\epsilon$  либо  $\lg\lambda_0\eta_0 - 1/\epsilon$ , но вообще не прослеживается какая-либо связь между величиной ВП электролитов и  $\epsilon$  растворителей. Подтверждением сказанного могут служить приведенные в табл. 4.1 значения ВП для некоторых солей, катионы которых энергично сольватируются молекулами растворителей. Наблюдающиеся же в ряде случаев закономерные изменения ВП некоторых электролитов (например, в гомологических рядах или смешанных растворителях) связаны не с  $\epsilon$  среды, а обусловлены другими причинами. В частности, в гомологических рядах основной причиной

Таблица 4.1. Значения ВП для некоторых солей щелочных металлов в неводных растворителях при 298 К

Растворитель	$\epsilon$	ВП		Растворитель	$\epsilon$	ВП	
		LiClO <sub>4</sub>	KClO <sub>4</sub>			LiClO <sub>4</sub>	KClO <sub>4</sub>
N-МПА	175	65,4	—	HM	37,8	73,8	75,9
N-МПА (313 К)	165	70,7	76,1	DMF	36,7	61,9	66,2
ФА	109	82,7	95,8	АН	36	58,0	64,6
ПК	65	67,9	75,6	АП	20,7	59,8	59,6
DMCO	46,5	72,4	76,6	Py	12	64,8	70,4
Сф	43,3	113,7	110,8				

Таблица 4.2. Значения ВП для некоторых солей в алифатических спиртах при 298 К

Растворитель	$\epsilon$	$\lambda_0\eta_0$	$\lambda_0\eta_0 V_M^{1/3}$	$\lambda_0\eta_0$	$\lambda_0\eta_0 V_M^{1/3}$
		LiClO <sub>4</sub>		KClO <sub>4</sub>	
Метанол	32,6	60,21	20,72	67,06	23,08
Этанол	24,6	52,92	20,57	59,98	23,31
Пропанол	20,3	48,90	20,63	56,07	23,66
Бутанол	17,5	45,82	20,68	—	—

таких изменений является изменение размера молекул растворителей, т. е. изменение мольного объема. Учет этого фактора путем введения соответствующей поправки, которая легко обосновывается теорией переходного состояния, приводит к удовлетворительному постоянству так называемого скорректированного ВП (табл. 4.2).

Что же касается смешанных растворителей, то здесь, как справедливо отмечено в работах [147, 148, 174], обязательно следует принимать во внимание проблемы, связанные с селективной сольватацией ионов. В смешанных растворителях, состоящих из сольватирующего (высокие значения  $DN$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ ) и инертного (низкая  $\epsilon$ ;  $DN$  и  $\mu$  близки к нулю) компонентов уменьшение ВП с ростом концентрации последнего логично объясняется накоплением в косфере ионов (т. е. в той зоне, которая и определяет их подвижность) более полярного и, как правило, более вязкого компонента смеси, что приводит к несовпадению значений микро- и макровязкости. С аналогичных позиций можно объяснить и появление экстремумов на зависимостях ВП от состава смешанного растворителя, составленного из двух сольватирующих, но отличающихся друг от друга своими физико-химическими характеристиками компонентов.

Несовпадение значений микро- и макровязкостей может иметь место и в случае индивидуальных, особенно структурированных растворителей, для которых характерно наличие трехмерной сетки водородных связей (вода, многоатомные спирты, сульфолан и т. п.). Различием в температурных коэффициентах микро- и макровязкости легко объяснить зависимость ВП электролитов от температуры в этих растворителях. Для тех же растворителей, в которых пространственная структура отсутствует, ВП в пределах погрешности эксперимента от температуры не зависит. Об этом свидетельствует анализ многочисленных литературных данных [6, 223].

Кроме того, в случае как индивидуальных, так и смешанных растворителей следует принимать во внимание возмож-

ность перемещения ионов по флуктуациям плотности или, иными словами, по «пустотам» растворителя [339].

Ионы в растворе мигрируют вместе со своими сольватными оболочками. Доказательством тому являются экспериментальные данные, полученные с помощью радиоактивных индикаторов [258, 265]. Поэтому уравнение (4.3) может быть представлено в виде:

$$\lambda_0\eta_0 = \text{const}/(r_{кр} + \Delta r_{сол}),$$

где  $\Delta r_{сол}$  — приращение радиуса иона за счет сольватации его молекулами растворителя ( $\Delta r_{сол} = r_{ст} - r_{кр}$ ).

Учет изменения размера сольватирующих ион молекул при переходе от одного растворителя к другому приводит к выражению:

$$\lambda_0\eta_0 = \text{const}/(r_{кр} + nd_{мол}), \quad (4.4)$$

где  $n$  — эмпирический коэффициент, отражающий взаимодействие ион—растворитель и являющийся сложной функцией размера иона, а также сольватирующих и полярных свойств растворителя.

С уменьшением сольватирующей способности растворителя и с ростом кристаллографического радиуса иона величина  $n$  уменьшается. Диаметр молекулы растворителя  $d_{мол}$  может быть оценен из мольного объема:

$$d_{мол} = (V/N_A)^{1/3}.$$

Уравнение (4.4) будет выполняться в тех относительно редких случаях, когда структурные эффекты, сопутствующие внедрению иона в растворитель, пренебрежимо малы. В частности, это условие соблюдается в случае иона лития, заряд которого вследствие интенсивной сольватации экранирован молекулами растворителя и потому почти не оказывает влияния на структуру растворителя в присольватном слое. Приведенные в табл. 4.3 данные подтверждают сказанное [для упрощения величина  $n$  в уравнении (4.4) принята равной 1].

Таблица 4.3. Влияние размеров молекул растворителей с различной  $\epsilon$  на величину ВП иона лития при 298 К

Растворитель	$\epsilon$	$\lambda_0\eta_0$	$\lambda_0\eta_0(r_{кр} + d_{мол})$	Растворитель	$\epsilon$	$\lambda_0\eta_0$	$\lambda_0\eta_0(r_{кр} + d_{мол})$
N-МФА	165 (313 К)	19,93	114,2	ДМФ	36,7	20,78	119,0
ФА	109	29,81	123,6	АН	36,0	23,84	122,2
Вода	78,3	34,44	130,5	ГМФА	30,0	17,22	125,9
ПК	65,0	20,67	121,7	Ац	20,7	21,99	124,2
ДМСО	46,5	22,34	124,9	Ру	12,4	22,45	130,2

Примечание. Среднеквадратичное отклонение в случае величины  $\lambda_0\eta_0$  составляет 15,5%, в случае  $\lambda_0\eta_0(r_{кр} + d_{мол})$  — 2,8%.

Таблица 4.4. Кристаллографические радиусы ионов, рассчитанные с помощью различных методов [6, 58, 142, 147, 332]

Ион	$r_i \cdot 10^{10}$ , м, рассчитанные методом		
	рентгеноструктурного анализа	Ван-дер-Ваальса	по структурным моделям
Li <sup>+</sup>	0,60 <sup>а</sup> ; 0,78 <sup>б</sup> ; 0,68 <sup>в</sup> ; 0,93 <sup>г</sup>	—	—
Na <sup>+</sup>	0,95 <sup>а</sup> ; 0,98 <sup>б</sup> ; 1,17 <sup>г</sup>	—	—
K <sup>+</sup>	1,33 <sup>а,б,в</sup> ; 1,49 <sup>г</sup>	—	—
Rb <sup>+</sup>	1,48 <sup>а</sup> ; 1,49 <sup>б,в</sup> ; 1,64 <sup>г</sup>	—	—
Cs <sup>+</sup>	1,69 <sup>а</sup> ; 1,65 <sup>б,в</sup> ; 1,83 <sup>г</sup>	—	—
Ag <sup>+</sup>	1,26 <sup>а,в</sup> ; 1,13 <sup>б</sup>	—	—
Tl <sup>+</sup>	1,44 <sup>а</sup> ; 1,49 <sup>б</sup>	—	—
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,48 <sup>а</sup> ; 1,45 <sup>б</sup>	1,68; 1,42	—
Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	2,83	3,47 <sup>а</sup> ; 2,67; 3,2; 2,56; 2,16 <sup>е</sup>
Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	3,39; 2,80	4,00 <sup>а</sup> ; 4,0; 3,06; 2,80 <sup>е</sup>
Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	4,25	3,81; 3,20	4,52 <sup>а</sup> ; 4,6; 3,43; 3,81; 3,35 <sup>е</sup>
Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	4,15; 3,49	4,94; 5,0; 3,75; 3,83 <sup>е</sup>
n-Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	4,44; 3,74	5,29 <sup>а</sup> ; 4,30 <sup>е</sup>
изо-Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	—	5,4; 4,23 <sup>е</sup>
изо-Pent <sub>3</sub> BuN <sup>+</sup>	—	—	4,09 <sup>е</sup>
Hex <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	—	5,60; 4,74 <sup>е</sup>
Hept <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	—	—	5,88; 5,06 <sup>е</sup>
Ph <sub>4</sub> As <sup>+</sup>	—	4,28	4,20; 4,31 <sup>е</sup>
F <sup>-</sup>	1,34 <sup>а</sup> ; 1,33 <sup>б,в</sup>	—	—
Cl <sup>-</sup>	1,81 <sup>а-в</sup> ; 1,16 <sup>г</sup>	—	—
Br <sup>-</sup>	1,95 <sup>а</sup> ; 1,96 <sup>б,в</sup> ; 1,64 <sup>г</sup>	—	—
I <sup>-</sup>	2,16 <sup>а</sup> ; 2,20 <sup>б,в</sup> ; 2,04 <sup>г</sup>	—	—
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,00 <sup>а</sup> ; 1,85 <sup>г</sup>	—	—
Pi <sup>-</sup>	—	—	3,61
B (изо-Pent) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	—	—	5,4; 4,13 <sup>е</sup>
BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	—	4,21	4,20; 4,8; 4,08 <sup>е</sup>

<sup>а</sup>Данные Л. Полинга. <sup>б</sup>Данные В. Гольдшмидта. <sup>в</sup>Данные Г. Б. Бокия. <sup>г</sup>Данные Б. Горейри и Ф. Андриана. <sup>д</sup>Метод Р. Робинсона и Р. Стокса. <sup>е</sup>Метод Б. Крумгальца.

Полезная информация может быть почерпнута из анализа зависимостей  $\Delta r_{\text{сол}} - r_{\text{кр}}$  (рис. 20). Из этих данных видно, что с увеличением кристаллографического радиуса катионов величина  $\Delta r_{\text{сол}}$  закономерно уменьшается (кристаллографические и термодимические радиусы ионов приведены в табл. 4.4 и 4.5). Значение  $r_{\text{кр}}$  катионов, при котором  $\Delta r_{\text{сол}}$  становится равным нулю, зависит от природы растворителя. В кислых растворителях (НСООН, НМ)  $\Delta r_{\text{сол}}$  равна 0,2 нм, в основных растворителях она существенно выше (в ДМФ — 0,24 нм, в ГМФА — 0,28 нм). Таким образом, катионы, имеющие размеры более

Таблица 4.5. Термодимические радиусы простых и комплексных ионов [342]

Ион	$r_i \cdot 10^{10}$	Ион	$r_i \cdot 10^{10}$	Ион	$r_i \cdot 10^{10}$
AlCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,95±0,84	IO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,77±0,03	Se <sup>2-</sup>	2,09±0,04
At <sup>-</sup>	2,22±0,09	MnCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,22±0,09	SeBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,58
BCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3,10±0,09	MnF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,56±0,18	SeCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,26±0,08
BF <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,32±0,04	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,29±0,02	SeO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	2,39±0,02
BH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,93±0,11	MoCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,40±0,04	SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,49±0,03
BKCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,61	N <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,95±0,02	SiF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,59±0,06
Br <sup>-</sup>	1,88±0,06	NbCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,43±0,17	SnBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,63±0,10
BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,54±0,08	NbO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,70	SnCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,49±0,15
CeCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,53	NCO <sup>-</sup>	2,03±0,08	SnI <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,96±0,17
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	1,62±0,14	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,90±0,03	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,58±0,04
Cl <sup>-</sup>	1,72±0,05	NiF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,49±0,05	TaO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,68
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,71±0,06	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,92±0,11	TaCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,44±0,16
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,40±0,05	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,79±0,06	TcCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,35
CN <sup>-</sup>	1,91±0,03	O <sup>2-</sup>	1,49±0,08	Te <sup>2-</sup>	2,20±0,09
CNS <sup>-</sup>	2,13±0,10	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,58±0,06	TeBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,59±0,04
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1,78±0,02	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,73±0,03	TeCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,66±0,17
CoCl <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3,19±0,03	O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,77	TeI <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,83
CoF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,44±0,01	OH <sup>-</sup>	1,33±0,03	ThCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,52
CrF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,52	OsBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,52	TiBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,52±0,09
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,56±0,03	OsCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,24±0,13	TiCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,31±0,14
CuCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3,21	PbCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,48±0,12	TiF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,89±0,12
F <sup>-</sup>	1,26±0,03	PdCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,19±0,12	UBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,19±0,22
FeCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3,58	PoB <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,65	UCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,37
GaCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,89	PtBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,42	VO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,82±0,02
GeCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,28	PtCl <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,93	VO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	2,60±0,06
GeF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,65±0,04	PtCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,13±0,12	WBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,43±0,09
H <sup>-</sup>	1,73±0,02	PtF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,96	WCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,36±0,15
HCl <sub>2</sub> <sup>-</sup>	2,01	PtI <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,42	ZnBr <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,99±0,01
HCO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,69±0,01	PuCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,45	ZnCl <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,86±0,01
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,56±0,02	ReBr <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,60	ZnI <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3,23
HF <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,72±0,01	ReCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,24±0,07	ZrCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,58±0,16
HfCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,72	ReF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,77	ZrF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,73±0,02
HfF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,71±0,01	RhF <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2,64±0,03	Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	2,01±0,11
HS <sup>-</sup>	2,07±0,06	RuCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,32	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,37±0,02
HSe <sup>-</sup>	2,05±0,03	S <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,91±0,07	PH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,57
I <sup>-</sup>	2,10±0,08	SbCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	3,51	Fr <sup>+</sup>	1,72±0,03
IO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,22±0,72				

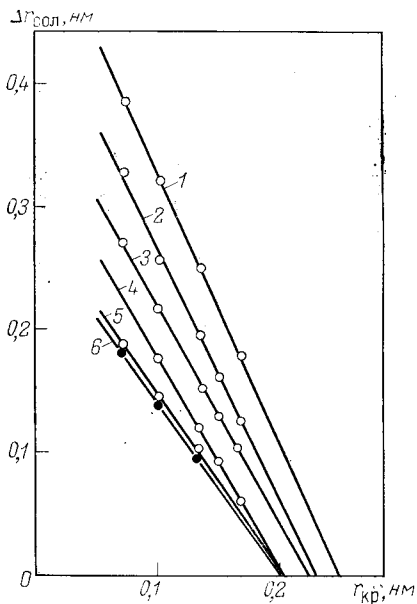


Рис. 20. Зависимость  $\Delta r_{\text{сол}}$  от кристаллографического радиуса ионов в различных органических растворителях:  
1 — ГМФА; 2 — ДМФ; 3 — АН; 4 — НБ; 5 — НСООН; 6 — НЕ

0,3 нм, не сольватируются даже в высокодонорных растворителях. Полученные результаты хорошо согласуются с величинами кристаллографических радиусов тетраалкиламмониевых катионов по Кругальзу (см. табл. 4.4). В связи с этим возникают серьезные сомнения в корректности расчета эффективных радиусов ионов в растворе с помощью некоторых приемов и уравнений [340, 341], в основе которых лежит использование

значений  $r_{\text{кр}}$  ионов  $R_4N^+$ , найденных ранее Робинсоном и Стоксом [147]. В частности, это относится к предложенному Гиллом [333] эмпирическому уравнению, связывающему эффективный радиус ионов с диэлектрической проницаемостью растворителей и структурными эффектами:

$$r_{\text{эф}} = r_{\text{ст}} + 0,0103\varepsilon + r_y, \quad (4.5)$$

где  $r_y$  — структурная поправка, равная 0,85 для неассоциированных растворителей и 1,13 — для ассоциированных растворителей.

Поскольку, по Гиллу, в случае крупных тетраалкиламмониевых катионов  $r_{\text{эф}}$  и  $r_{\text{кр}}$  равны, это позволяет проводить сопоставление расчетных и экспериментальных значений стоксовских радиусов таких ионов. Как показано в работах [223, 343], уравнение Гилла находится в противоречии с экспериментальными данными. Нагляднее всего это проявляется для растворителей со сверхвысокой  $\varepsilon$ . Так, в N-МПА ( $\varepsilon = 175$ ) значение рассчитываемой по уравнению (4.5) величины  $r_{\text{ст}}$  иона  $\text{Bu}_4\text{N}^+$  составляет 0,20 нм, в то время как экспериментальное значение значительно выше (0,34 нм). Кроме того, из уравнения (4.5) следует, что структурная поправка не зависит от природы иона, а определяется исключительно свойствами самого растворителя. Однако это предположение не соответствует действительности [6].

На самом деле отклонения от правила Вальдена — Писаржевского для крупных несольватирующихся ионов связаны

Таблица 4.6. Значения ВП для тетраалкиламмониевых катионов в различных растворителях

Растворитель	$\text{Me}_4\text{N}^+$	$\text{Et}_4\text{N}^+$	$\text{Pr}_4\text{N}^+$	$\text{Bu}_4\text{N}^+$	$\text{Pent}_4\text{N}^+$
АН	32,51	29,24	24,21	21,22	19,20
ФА	42,37	34,45	25,94	21,57	—
ДМФ	31,35	28,84	23,57	21,16	18,23
НМ	34,32	29,88	24,54	21,39	—
НБ	31,89	30,34	24,80	22,00	—
MeOH	37,49	33,31	25,14	21,33	18,99
EtOH	32,45	31,49	24,71	21,31	—
n-PrOH	29,56	29,64	24,29	21,42	19,00
ЭГ	49,44	36,54	28,89	25,16	—
$\text{H}_2\text{O}$	39,99	29,08	20,85	17,33	15,55
Сф	44,04	40,54	33,24	28,40	25,82

не с диэлектрической проницаемостью, а со структурными эффектами. Данные, приведенные в табл. 4.6, свидетельствуют о том, что эти отклонения тем значительнее, чем сильнее структурирован растворитель. В неструктурированных растворителях ВП для ионов с  $r_{\text{кр}} > 0,3$  нм в пределах погрешности эксперимента остается величиной постоянной.

В отличие от диэлектрической проницаемости химическая природа растворителя оказывает существенное влияние на подвижность ионов. Это влияние особенно велико в случае небольших ионов и ослабевает по мере увеличения их размера (табл. 4.6 и 4.7).

Таким образом, в рамках модели сольватированного иона все отклонения от правила Вальдена объясняются изменением радиуса движущегося иона вследствие изменения размеров сольватирующих ион молекул растворителя и (или) изменением структуры растворителя вблизи иона, что приводит к несовпадению значений микро- и макровязкости.

В ряде работ принимается принципиально иная модель ионного транспорта, предусматривающая миграцию несольватированных ионов. В рамках этой модели, предложенной Бойдом [344] и Цванцигом [345, 346] и получившей дальнейшее развитие в работах Хаббарда, Онзагера, Стилса, Волинеса [347—

Таблица 4.7. Значения ВП для одновалентных катионов в растворителях с различной донорной способностью

Растворитель	$\varepsilon$	DN	ВП для катионов				
			$\text{Li}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Rb}^+$	$\text{Cs}^+$
Нитрометан	36,7	2,7	32,98	34,73	35,57	—	—
Нитробензол	34,8	4,4	—	30,96	33,20	34,69	37,11
Ацетонитрил	36,0	14,1	23,84	26,42	28,79	29,52	30,07
Диметилформамид	36,7	26,6	19,90	22,69	24,52	25,80	27,46

Таблица 4.8. Отношение диэлектрического трения ( $\xi_e$ ) к общему трению ( $\xi$ ) для одновалентных катионов в ацетонитриле

Ион	$\xi_e/\xi$		Ион	$\xi_e/\xi$	
	по Цванцигу	по Чену и Адельману		по Цванцигу	по Чену и Адельману
Li <sup>+</sup>	0,99	0,028	Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	0,12	0,019
Na <sup>+</sup>	0,96	0,025	Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	0,072	0,013
K <sup>+</sup>	0,87	0,030	Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	0,046	0,010
Rb <sup>+</sup>	0,81	0,033	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	0,033	0,008
Cs <sup>+</sup>	0,72	0,037	Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	0,025	0,007

354], помимо обычного гидродинамического трения учитывается еще так называемое диэлектрическое трение, связанное с тем, что скорость переориентации диполей растворителя после прохождения иона является конечной величиной. Цванцигом получено следующее уравнение:

$$\lambda_0 \eta_0 = \frac{zeF}{A\pi r + R} \frac{(ze)^2 (\epsilon - \epsilon_\infty)}{r^3 \epsilon (2\epsilon + 1)} \cdot \frac{\tau}{\eta} = \frac{zeF}{A\pi r + \frac{B}{r^3}}$$

где  $\tau$  — время диэлектрической релаксации;  $r$  — радиус иона;  $A$  и  $R$  — постоянные;  $A=4$  (идеальное скольжение, растворитель не «прилипает» к поверхности иона) или  $A=6$  (идеальное прилипание); для  $R$  в этих двух случаях принимаются значения соответственно  $3/4$  либо  $3/8$ .

Уравнение, выведенное Хаббардом и Онзагером [339, 347], приводит к другим значениям коэффициентов  $B$  и  $R$ :

$$B_{X-O} = \frac{R_{X-O} (ze)^2 (\epsilon - \epsilon_\infty)}{\epsilon^2} \cdot \frac{\tau}{\eta}$$

где  $R_{X-O}=1/15$  (идеальное скольжение) или  $17/280$  (идеальное прилипание).

Проведенная проверка теорий диэлектрического трения [355] свидетельствует о том, что совпадение их с экспериментом носит чисто качественный характер. В то же время развитый Ченом и Адельманом [356] подход, учитывающий эффекты сольватации ионов и локальной структуры растворителя вблизи ионов, приводит к гораздо лучшему согласию расчетных и экспериментальных значений. При этом, как свидетельствуют данные табл. 4.8, влияние диэлектрического трения на подвижность ионов оказывается весьма незначительным.

Следует отметить, что для крупных ионов ни одна из упомянутых выше теорий диэлектрического трения не предусматривает сколько-нибудь заметного диэлектрического торможения.

Ниже представлены наиболее достоверные значения предельных ионных подвижностей и  $K_{ac}$  различных электролитов в неводных растворителях.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ В НЕВОДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ ( $\lambda_0 \cdot 10$ ) при 298 К

Диоксид серы										
Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	111		изо-Pent <sub>3</sub> HN <sup>+</sup>	68		Ph <sub>4</sub> P <sup>+</sup>	63		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	109
Me <sub>3</sub> PhN <sup>+</sup>	86		изо-Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	62		Cl <sup>-</sup>	127		BF <sub>4</sub> <sup>-</sup>	103
Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	87		Hex <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	50		Br <sup>-</sup>	125		Pi <sup>-</sup>	66
Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	70		Ph <sub>4</sub> As <sup>+</sup>	60		I <sup>-</sup>	124		B(изо-Pent) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	62
Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	62									
Фосфорилхлорид										
Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	23,7		Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	15,1		Br <sup>-</sup>	31,7		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	36,1
Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	18,3		Cl <sup>-</sup>	29,3		I <sup>-</sup>	30,2			
Формамид										
H <sup>+</sup>	10,5		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15,2		Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	5,75		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17,7
Li <sup>+</sup>	8,34		Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	12,8		Cl <sup>-</sup>	17,3		SCN <sup>-</sup>	17,4
Na <sup>+</sup>	9,89		Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	10,4		Br <sup>-</sup>	17,5			12,2
K <sup>+</sup>	12,4		Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	7,78		I <sup>-</sup>	16,8		Pi <sup>-</sup>	9,68
Rb <sup>+</sup>	12,8		Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	6,64		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	16,7		BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	6,27
Cs <sup>+</sup>	13,5									
N-Метилформамид										
Li <sup>+</sup>	14,7		Rb <sup>+</sup>	20,2		Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	21,2		Br <sup>-</sup>	24,7
Na <sup>+</sup>	18,3		Cs <sup>+</sup>	21,2		Cl <sup>-</sup>	23,1		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	27,8
K <sup>+</sup>	19,0									
N,N-Диметилформамид										
H <sup>+</sup>	35,0		Cs <sup>+</sup>	35,4		Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	29,6		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	51,6
Li <sup>+</sup>	26,1		Ag <sup>+</sup>	35,7		Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	26,6		SCN <sup>-</sup>	59,2
Na <sup>+</sup>	30,0		Tl <sup>+</sup>	39,5		Cl <sup>-</sup>	53,8		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	57,1
K <sup>+</sup>	31,6		Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	39,4		Br <sup>-</sup>	53,4		Pi <sup>-</sup>	37,1
Rb <sup>+</sup>	33,2		Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	36,2		I <sup>-</sup>	51,1			
N,N-Диэтилформамид										
Li <sup>+</sup>	14,1		Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	22,5		(изо-Pent) <sub>4</sub> BuN <sup>+</sup>	17,2		I <sup>-</sup>	28,7
Na <sup>+</sup>	19,4		Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	19,1		Cl <sup>-</sup>	27,4		SCN <sup>-</sup>	36,75
K <sup>+</sup>	20,85		Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	15,9		Br <sup>-</sup>	34,2		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	35,05
Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	24,45									
N-Метилацетамид (308 К)										
H <sup>+</sup>	8,11		K <sup>+</sup>	8,02		Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	11,0		I <sup>-</sup>	12,7
Li <sup>+</sup>	6,38		Rb <sup>+</sup>	8,67		Cl <sup>-</sup>	9,69		Pi <sup>-</sup>	10,4
Na <sup>+</sup>	7,90		Cs <sup>+</sup>	9,30		Br <sup>-</sup>	10,8			
N,N-Диметилацетамид										
Li <sup>+</sup>	20,3		Ag <sup>+</sup>	27,2		Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	22,8		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	46,3
Na <sup>+</sup>	25,8		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	35,9		Cl <sup>-</sup>	45,9		SCN <sup>-</sup>	48,8
K <sup>+</sup>	25,2		Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	35,2		Br <sup>-</sup>	43,2		Pi <sup>-</sup>	31,5
Rb <sup>+</sup>	27,0		Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	32,9		I <sup>-</sup>	41,8		PhSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	31,0
Cs <sup>+</sup>	27,9		Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	26,1		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	42,8			
N-Метилпропионамид										
Li <sup>+</sup>	3,89		Cl <sup>-</sup>	5,42		BF <sub>4</sub> <sup>-</sup>	7,02		Ac <sup>-</sup>	4,71
K <sup>+</sup>	4,80		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	8,31		BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	4,42		CF <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	5,66
Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	4,68		—	—		—	—		—	—

## Тетраметилмочевина

Li+	14,45	Cs+	16,9	Bu <sub>4</sub> N+	14,95	ClO <sub>4</sub> -	28,35
Na+	16,1	Me <sub>4</sub> N+	22,6	Hep <sub>4</sub> N+	11,5	NO <sub>3</sub> -	32,4
K+	15,7	Et <sub>4</sub> N+	22,1	Br-	30,1	SCN-	33,1
Rb+	16,0	Pr <sub>4</sub> N+	15,0	I-	28,8	BBu <sub>4</sub> -	14,95

## Гексаметилфосфортриамид

Li+	5,3	Ag+	5,6	Bu <sub>4</sub> N+	6,1	NO <sub>3</sub> -	19,0
Na+	5,5	Tl+	6,3	Cl-	19,7	ClO <sub>4</sub> -	16,0
K+	5,7	NH <sub>4</sub> +	5,5	Br-	18,9	SCN-	20,1
Rb+	6,0	Et <sub>4</sub> N+	9,1	I-	17,2	BPh <sub>4</sub> -	6,1
Cs+	6,2						

## Пиридин

Li+	24,8	Me <sub>4</sub> N+	43,0	Bu <sub>4</sub> N+	23,9	ClO <sub>4</sub> -	49,4
Na+	26,4	Me <sub>3</sub> EtN+	41,7	Cl-	51,6	NO <sub>3</sub> -	53,9
K+	31,8	Et <sub>4</sub> N+	41,4	Br-	51,4	Ac-	52,0
Ag+	34,2	EtPr <sub>3</sub> N+	23,9	I-	49,2	Pi-	33,8
NH <sub>4</sub> +	46,8						

## N-Метилпирролидон

Li+	13,9	Ag+	15,0	Br-	28,2	Pi-	20,1
Na+	14,6	Et <sub>4</sub> N+	18,3	I-	27,0	BPh <sub>4</sub> -	12,2
K+	15,2	Cl-	26,5	ClO <sub>4</sub> -	27,2		

## Ацетон

H+	89,5	NH <sub>4</sub> +	94,5	Pent <sub>4</sub> N+	58,5	ClO <sub>4</sub> -	115,5
Li+	72,1	Me <sub>4</sub> N+	99,0	F-	83,7	NO <sub>3</sub> -	120,1
Na+	74,8	Et <sub>4</sub> N+	91,4	Cl-	105,2	SCN-	121,9
K+	78,9	Pr <sub>4</sub> N+	74,6	Br-	115,9	Pi-	85,3
Cs+	84,4	Bu <sub>4</sub> N+	67,3	I-	113,0	BPh <sub>4</sub> -	66,0

## Метилэтилкетон

Li+	59,8	MeBu <sub>3</sub> N+	58,3	изо-Pent <sub>3</sub> BuN+	51,8	Br-	85,3
Na+	62,4	MeHep <sub>3</sub> N+	47,5	Pent <sub>4</sub> N+	49,5	I-	87,4
K+	63,4	Et <sub>4</sub> N+	72,0	Hex <sub>4</sub> N+	45,8	ClO <sub>4</sub> -	85,6
Me <sub>4</sub> N+	76,3	Pr <sub>4</sub> N+	61,2	Hep <sub>4</sub> N+	43,1	NO <sub>3</sub> -	96,8
MePr <sub>3</sub> N+	64,9	Bu <sub>4</sub> N+	54,2	Oct <sub>4</sub> N+	40,8	SCN-	91,7

## Циановодород

Li+	142	K+	158	Cs+	167	Cl-	227,5
Na+	138	Rb+	161	NH <sub>4</sub> +	180		

## Муравьиная кислота

H+	79,8	NH <sub>4</sub> +	27,1	Bu <sub>4</sub> N+	13,0	Br-	28,2
Li+	19,5	Me <sub>4</sub> N+	23,2	изо-Pent <sub>3</sub> BuN+	12,3	ClO <sub>4</sub> -	29,2
Na+	21,0	Et <sub>4</sub> N+	19,2	Am <sub>4</sub> N+	11,4	HCCOO-	50,0
K+	24,0	Pr <sub>4</sub> N+	14,6	Cl-	26,4	BPh <sub>4</sub> -	12,3

## Ацетонитрил

H+	99	Tl+	91,3	изо-Pent <sub>4</sub> N+	57,0	NO <sub>3</sub> -	106,3
Li+	69,5	NH <sub>4</sub> +	97,1	Hex <sub>4</sub> N+	50,7	SCN-	113,4
Na+	76,8	Me <sub>4</sub> N+	94,5	Ph <sub>4</sub> As+	55,8	BF <sub>4</sub> -	108,5
K+	83,8	Et <sub>4</sub> N+	84,9	Cl-	99,2	PF <sub>6</sub> -	104,2
Rb+	85,7	Pr <sub>4</sub> N+	70,4	Br-	100,7	AsF <sub>6</sub> -	79,2
Cs+	87,3	Bu <sub>4</sub> N+	61,5	I-	102,5	Pi-	77,7
Cu+	64,7	Pent <sub>4</sub> N+	56,0	ClO <sub>4</sub> -	103,7	BPh <sub>3</sub> Cl-	114,5
Ag+	86,0	изо-Pent <sub>3</sub> BuN+	58,1	ClO <sub>3</sub> -	100,5	BPh <sub>4</sub> -	58,0
						B(изо-Pent) <sub>4</sub> -	57,4

## Диметилсульфоксид

H+	15,6	Et <sub>4</sub> N+	17,3	Cl-	24,2	SCN-	28,9
Li+	11,5	Pr <sub>4</sub> N+	13,6	Br-	23,8	CH <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> -	21,6
Na+	14,1	Bu <sub>4</sub> N+	11,4	I-	23,6	CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> -	22,9
K+	14,7	Pent <sub>4</sub> N+	10,5	ClO <sub>3</sub> -	24,4	Ac-	21,3
Rb+	15,1	изо-Pent <sub>4</sub> N+	10,6	ClO <sub>4</sub> -	24,0	PhSO <sub>3</sub> -	16,4
Cs+	15,6	Me <sub>3</sub> PhN+	14,2	NO <sub>3</sub> -	26,7	BPh <sub>4</sub> -	10,7
Me <sub>4</sub> N+	18,8	Me <sub>3</sub> OctdN+	10,2				

## Сульфолан

Li+	4,34	Ag+	4,84	Bu <sub>4</sub> N+	2,76	ClO <sub>4</sub> -	6,69
Na+	3,61	NH <sub>4</sub> +	4,98	Pent <sub>4</sub> N+	2,51	NO <sub>3</sub> -	6,67
K+	4,04	Me <sub>4</sub> N+	4,28	Cl-	9,29	SCN-	9,63
Rb+	4,20	Et <sub>4</sub> N+	3,94	Br-	8,91	PF <sub>6</sub> -	5,95
Cs+	4,34	Pr <sub>4</sub> N+	3,23	I-	7,22	Pi-	5,32

## Метанол

H+	146,1	NH <sub>4</sub> +	57,6	изо-Pent <sub>4</sub> N+	35,3	ClO <sub>4</sub> -	70,9
Li+	39,6	MeN+	68,6	Hex <sub>4</sub> N+	31,4	NO <sub>3</sub> -	61,1
Na+	45,2	Et <sub>4</sub> N+	60,5	Hep <sub>4</sub> N+	29,4	SCN-	62,0
K+	52,4	Pr <sub>4</sub> N+	46,1	Cl-	52,4	OCH <sub>3</sub> -	53,0
Rb+	56,0	Bu <sub>4</sub> N+	38,9	Br-	56,5	Ac-	23,0
Cs+	60,9	изо-Pent <sub>3</sub> BuN+	36,6	I-	62,7	Pi-	46,9
Ag+	49,9	Pent <sub>4</sub> N+	35,2	ClO <sub>3</sub> -	61,3	BPh <sub>4</sub> -	36,6

## Этанол

H+	62,8	Ag+	19,2	изо-Pent <sub>3</sub> BuN+	18,4	ClO <sub>4</sub> -	31,5
Li+	17,1	NH <sub>4</sub> +	25,8	Hep <sub>4</sub> N+	14,9	NO <sub>3</sub> -	25,7
Na+	20,3	Me <sub>4</sub> N+	29,9	PPh <sub>4</sub> +	20,0	SCN-	27,5
K+	23,4	Et <sub>4</sub> N+	29,1	Cl-	21,9	OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -	23,0
Rb+	24,9	Pr <sub>4</sub> N+	22,9	Br-	23,9	Pi-	25,1
Cs+	26,4	Bu <sub>4</sub> N+	19,6	I-	27,0	BPh <sub>4</sub> -	19,4

## n-Пропанол

H+	45,7	Cs+	13,8	Pent <sub>4</sub> N+	9,54	I-	13,9
Li+	8,80	Me <sub>4</sub> N+	15,0	Hep <sub>4</sub> N+	8,28	ClO <sub>4</sub> -	16,4
Na+	10,2	Pr <sub>4</sub> N+	12,2	Cl-	10,5	SCN-	14,2
K+	13,4	Bu <sub>4</sub> N+	10,7	Br-	12,3	OC <sub>3</sub> H <sub>7</sub> -	11,9
Rb+	13,1	изо-Pent <sub>3</sub> BuN+	10,1				

## Продолжение

## Нитрометан

H <sup>+</sup>	65	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	62,7	изо-Pent <sub>3</sub> BuN <sup>+</sup>	32,9	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	65,3
Li <sup>+</sup>	53,9	Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	54,5	Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	32,1	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	66,2
Na <sup>+</sup>	56,7	Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	48,1	Ph <sub>4</sub> As <sup>+</sup>	30,7	SCN <sup>-</sup>	71,6
K <sup>+</sup>	59,7	Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	39,2	Cl <sup>-</sup>	61,9	B(изо-Pent) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	32,1
Ag <sup>+</sup>	50,7	изо-Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	34,1	Br <sup>-</sup>	62,3	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	32,5
Tl <sup>+</sup>	58,7	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	34,7	I <sup>-</sup>	63,1		

## Нитробензол

H <sup>+</sup>	21,5	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18,0	Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	10,9	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22,8
Li <sup>+</sup>	14,5	Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	16,9	Cl <sup>-</sup>	22,4	SCN <sup>-</sup>	22,4
Na <sup>+</sup>	15,9	Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	16,1	Br <sup>-</sup>	22,0	Ac <sup>-</sup>	19,4
K <sup>+</sup>	17,4	Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	13,1	I <sup>-</sup>	21,3	Pi <sup>-</sup>	16,4
Ag <sup>+</sup>	16,9	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	11,5	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	21,5	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	10,8

## 1,2-Дихлорэтан

Na <sup>+</sup>	108,7	Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	31,2	Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	23,0	Pi <sup>-</sup>	31,5
Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	42,6	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	25,9	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	39,3	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	24,3
Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	38,2						

## о-Дихлорбензол

Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	15,6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	27,0	Pi <sup>-</sup>	16,5	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	14,7
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	26,4						

## 1,2-Диметоксигэтан

Li <sup>+</sup>	45,3	изо-Pent <sub>3</sub> BuN <sup>+</sup>	46,3	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	87,7	Pi <sup>-</sup>	53,6
Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	47,2	Oct <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	37,3	BF <sub>4</sub> <sup>-</sup>	94,0	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	46,3

## Метилацетат

Li <sup>+</sup>	58	Oct <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	43,2	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	104	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	55,2
Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	58,8						

## Тетрагидрофуран

Li <sup>+</sup>	45,6	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	44,5	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	81,5	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	40,3
Cs <sup>+</sup>	68,4	изо-Pent <sub>3</sub> BuN <sup>+</sup>	40,3				

## Бутиролактон

Li <sup>+</sup>	12,6	Pb <sup>+</sup>	19,5	Br <sup>-</sup>	28,3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26,7
Na <sup>+</sup>	14,4	Cs <sup>+</sup>	20,4	I <sup>-</sup>	27,2	Pi <sup>-</sup>	17,8
K <sup>+</sup>	18,8	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	13,6	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	27,8	BBu <sub>4</sub> <sup>-</sup>	13,6

## Этиленкарбонат

Na <sup>+</sup>	12,9	Cs <sup>+</sup>	17,2	Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	13,8	I <sup>-</sup>	25,9
K <sup>+</sup>	15,6	Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	18,9	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	11,6	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	26,2
Rb <sup>+</sup>	16,4	Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	17,1	Br <sup>-</sup>	25,4		

## Пропиленкарбонат

H <sup>+</sup>	11,5	Et <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	13,2	I <sup>-</sup>	18,5	CF <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	17,9
Li <sup>+</sup>	8,26	Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	10,4	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	18,6	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	9,39
Na <sup>+</sup>	9,29	Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	8,98	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20,2	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	15,0
K <sup>+</sup>	11,2	изо-Pent <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	8,18	SCN <sup>-</sup>	22,3	AsF <sub>6</sub> <sup>-</sup>	14,2
Rb <sup>+</sup>	11,7	Cl <sup>-</sup>	20,2	CH <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15,2	Pi <sup>-</sup>	13,1
Cs <sup>+</sup>	12,3	Br <sup>-</sup>	18,9	CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16,4	BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	8,42
Me <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	14,1			CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	14,1	B(изо-Pent) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	8,18

Значения lg K<sub>ac</sub> электролитов в некоторых неводных растворителях при 298 K

## Диоксид серы (273 K)

Me <sub>4</sub> NCl	3,0	Pr <sub>4</sub> NI	2,3	изо-Pent <sub>4</sub> NBr	2,2	Ph <sub>4</sub> PPi	2,3
Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	3,1	Bu <sub>4</sub> NBr	2,1	изо-Pent <sub>4</sub> NI	2,3	Ph <sub>4</sub> AsCl	2,2
Et <sub>4</sub> NI	2,5	Bu <sub>4</sub> NI	2,2	изо-Pent <sub>4</sub> NB	2,2	Ph <sub>4</sub> AsI	2,1
				(изо-Pent) <sub>4</sub>			
Pr <sub>4</sub> NCl	2,3	Bu <sub>4</sub> NPi	2,5	Hex <sub>4</sub> NI	1,9	Ph <sub>4</sub> AsPi	2,3

## Фосфорилхлорид

Et <sub>4</sub> NCl	3,15	Et <sub>4</sub> NI	2,41	Pr <sub>4</sub> NCl	2,89
Et <sub>4</sub> NBr	2,72	Et <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	3,22	Bu <sub>4</sub> NCl	2,67

## Пиридин

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,0	HPi	2,9	LiClO <sub>4</sub>	2,90	KI	3,67
CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> H	2,8	LiCl	6,25	LiPi	4,08	KPi	4,00
HClO <sub>4</sub>	2,8	LiBr	4,72	NaI	3,43	Oct <sub>4</sub> NCl	3,60
CF <sub>3</sub> COOH	5,3	LiBF <sub>4</sub>	3,51	NaPi	4,36	Oct <sub>4</sub> NPi	3,25

## Ацетон

HClO <sub>4</sub>	3,17	NaClO <sub>4</sub>	2,81	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	2,13	Bu <sub>4</sub> NBr	2,49
LiCl	5,55	NaPi	2,83	Me <sub>4</sub> NPi	1,82	Bu <sub>4</sub> NI	2,22
LiBr	3,66	KI	2,26	Et <sub>4</sub> NPi	1,65	Bu <sub>4</sub> NNO <sub>3</sub>	2,16
LiClO <sub>4</sub>	3,23	KClO <sub>4</sub>	2,49	Pr <sub>4</sub> NPi	1,43	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	1,90
LiPi	2,91	KPi	2,39	Bu <sub>4</sub> NCl	2,64	Bu <sub>4</sub> NPi	1,83
NaI	3,20	AgClO <sub>4</sub>	3,21				

## Уксусная кислота

HCl	9,5	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	11,1	FSO <sub>3</sub> H	7,8	HClO <sub>4</sub>	6,2
HBr	7,0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8,0	CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> H	6,2	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	6,2
HNO <sub>3</sub>	10,1	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	7,4	CF <sub>3</sub> COOH	10,3	Oct <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	6,2

## Ацетонитрил

LiCl	3,54	KSCN	1,42	CsPF <sub>6</sub>	1,59	Me <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	1,32
LiBr	2,18	KPF <sub>6</sub>	1,49	CuBF <sub>4</sub>	1,08	Et <sub>4</sub> NBr	1,00
LiClO <sub>4</sub>	1,29	RbClO <sub>4</sub>	1,50	CuPF <sub>6</sub>	1,15	Pr <sub>4</sub> NBr	0,60
NaClO <sub>4</sub>	1,32	RbPF <sub>6</sub>	1,52	AgClO <sub>4</sub>	3,06	Bu <sub>4</sub> NBr	0,30
KClO <sub>4</sub>	1,45	CsClO <sub>4</sub>	1,55	Me <sub>4</sub> NBr	1,66	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	0,85

## 1,2-Диметоксигэтан

LiClO <sub>4</sub>	6,6	LiBPh <sub>4</sub>	4,8	CsBPh <sub>4</sub>	4,5	Bu(изо-Pent) <sub>3</sub> NBPh <sub>4</sub>	4,45
LiBF <sub>4</sub>	7,4	NaBPh <sub>4</sub>	4,3	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	4,4	Oct <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	6,2

## Метилацетат

LiClO <sub>4</sub>	7,7	LiPi	8,45	Oct <sub>4</sub> NCl	6,7	Oct <sub>4</sub> NPi	6,1
LiBF <sub>4</sub>	8,55	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	4,95	Oct <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	6,55	Oct <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	5,0

## Тетрагидрофуран

LiClO <sub>4</sub>	7,4	NaBPh <sub>4</sub>	4,1	CsBPh <sub>4</sub>	5,7	Bu <sub>4</sub> NBPh <sub>4</sub>	4,4
NaClO <sub>4</sub>	7,8	KBPh <sub>4</sub>	4,5	Bu <sub>4</sub> NClO <sub>4</sub>	6,2	Bu(изо-Pent) <sub>3</sub> NBPh <sub>4</sub>	4,2



Значения  $K_{ac}$  электролитов в некоторых неводных растворителях при 298 К

Метанол

HCl	8	NaPi	0	RbNO <sub>3</sub>	18	Me <sub>4</sub> NI	18
HPi	3960	KCl	0	RbClO <sub>4</sub>	44,2	Me <sub>4</sub> NCIO <sub>4</sub>	59,9
LiNO <sub>3</sub>	10	KNO <sub>3</sub>	39	CsCl	0	Me <sub>4</sub> NPi	11
LiClO <sub>4</sub>	13,7	KClO <sub>4</sub>	34,2	CsClO <sub>4</sub>	53,8	Bu <sub>4</sub> NCl	0
NaCl	0	KBPh <sub>4</sub>	20	AgNO <sub>3</sub>	678	Bu <sub>4</sub> NBr	16
NaNO <sub>3</sub>	19	KPi	12	Me <sub>4</sub> NCl	7	Bu <sub>4</sub> NCIO <sub>4</sub>	53,4
NaClO <sub>4</sub>	19	RbCl	0	Me <sub>4</sub> NBr	14	Bu <sub>4</sub> NPi	7

Этанол

HCl	48	LiClO <sub>4</sub>	51,3	Me <sub>4</sub> NCl	122	Bu <sub>4</sub> NCl	39
HPi	5830	NaCl	44	Me <sub>4</sub> NBr	146	Bu <sub>4</sub> NBr	146
LiCl	27	KCl	95	Me <sub>4</sub> NPi	110	Bu <sub>4</sub> NI	123
LiNO <sub>3</sub>	19	AgNO <sub>3</sub>	210	Et <sub>4</sub> NPi	69		

Предельная подвижность ионов в этаноле при различных температурах

Предельные ионные подвижности рассчитаны с помощью уравнения, описывающего зависимость числа переноса иона  $K^+$  от температуры в растворах KSCN в EtOH:

$$t_0^+(KSCN) = 0,45889 - 1,53 \cdot 10^{-4}(298,15 - T) - 3,2 \cdot 10^{-6}(298,15 - T)^2$$

Цифры в скобках означают доверительный интервал для последней значащей цифры.

Ион	$\lambda_0 \cdot 10$ при T, К			
	268	278	288	298
Na <sup>+</sup>	10,845(8)	13,519(12)	16,640(14)	20,232(18)
K <sup>+</sup>	12,477(2,6)	15,567(6,5)	19,179(6,7)	23,336(15)
Cs <sup>+</sup>	14,470(8)	17,906(12)	21,889(14)	26,425(19)
Pr <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	12,585(8)	15,569(13)	19,014(11)	22,925(18)
изо-Pent <sub>3</sub> BuN <sup>+</sup>	10,064(7)	12,480(12)	15,289(11)	18,489(18)
Br <sup>-</sup>	16,023(13)	12,940(8)	19,653(12)	23,883(19)
I <sup>-</sup>	14,836(7)	18,292(11)	22,312(10)	26,989(17)
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	17,757(19)	21,722(17)	26,276(19)	31,531(24)
SCN <sup>-</sup>	15,161(6)	18,687(8)	22,777(12)	27,520(21)
BPh <sub>4</sub> <sup>-</sup>	10,908(12)	13,447(18)	16,397(23)	19,796(28)

Предельная молярная электропроводность и константы ассоциации солей в некоторых неводных растворителях при различных температурах

Цифры в скобках означают доверительный интервал для последней значащей цифры.

Ацетонитрил — электролиты

T, К	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, К	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, К	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, К	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$
Me <sub>4</sub> NCIO <sub>4</sub>						Et <sub>4</sub> NCIO <sub>4</sub>					
238	96,36	25,6	278	162,23	27,8	238	91,51	20,9	278	154,45	22,7
248	112,00	26,0	288	179,95	28,6	248	106,45	21,3	288	171,40	23,4
258	128,23	26,5	298	198,14	29,5	258	121,95	21,7	298	188,81	24,1
267	144,98	27,1				267	137,97	22,2			

Метанол — электролиты

T, К	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$
KSCN		Me <sub>4</sub> NCSN		
258	60,81(2)	12,4(4)	71,81(1)	39,6(2)
268	72,48(2)	13,6(4)	84,79(1)	40,4(2)
278	85,26(2)	14,9(4)	98,88(2)	41,5(2)
288	99,21(2)	16,5(4)	114,11(2)	43,0(2)
298	114,35(3)	18,3(3)	120,53(2)	44,8(2)

Этанол — электролиты

T, К	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$
NaI		NaBF <sub>4</sub>		KI		KSCN		
228	9,407	20,2	7,830	19	9,971	29,2	10,079	33,9
238	12,430	22,0	10,411	20,8	13,180	32,5	13,333	37,8
248	16,092	24,2	13,577	22,4	17,079	36,9	17,279	42,3
258	20,477	26,7	17,297	23,1	21,753	41,9	22,013	47,7
268	25,692	30,3	21,741	24,7	27,313	47,9	27,639	54,2
278	31,82	34,2	26,957	26,2	33,860	55,3	34,255	61,9
288	38,97	39,5	33,023	28,2	41,491	64,8	41,956	71,3
298	47,23	46,2	40,020	30,3	50,325	77,2	50,856	83,5

T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$
	CsI		Pr <sub>4</sub> NBr			Pr <sub>4</sub> NI	
228	10,873	68,4	9,353	123,0	233	10,76	1,888
238	14,316	74,5	12,358	120,3	243	14,12	1,710
248	18,470	81,5	15,999	119,9	253	18,17	1,576
258	23,430	89,7	20,354	120,2	263	21,92	1,485
268	29,306	99,7	25,525	121,9	273	21,71	1,438
278	36,198	111,9	31,592	123,9	283	34,26	1,433
288	44,201	126,7	38,667	129,0	293	41,73	1,473
298	53,414	144,9	46,808	134,6	303	50,72	1,555
					313	59,03	1,681

T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$
	Pr <sub>4</sub> NCIO <sub>4</sub>		Bu <sub>4</sub> NI		n-Pent <sub>3</sub> BuNI			изо-Pent <sub>3</sub> BuNBPh <sub>4</sub>
228	10,158	189,8	11,513	37,6	9,198	214,9		7,634
238	13,386	181,3	15,079	34,9	12,125	204,8		10,129
248	17,282	176,8	19,349	32,7	15,668	198,1		13,137
258	21,925	173,6	24,41	31,1	19,897	192,8		16,729
268	27,421	172,3	30,34	29,7	24,900	190,1		20,972
278	33,861	173,1	37,29	29,4	30,772	189,8		25,93
288	41,326	175,8	45,29	29,2	37,600	191,9		31,69
298	49,914	181,3	54,46	29,5	45,478	196,5		38,28

1,2-Диметоксиэтан — LiBF<sub>4</sub>

T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	$K_{ac}$
228	46,45	0,566	248	68,76	1,728	268	94,10	5,098	288	123,1	14,44
238	57,24	0,987	258	81,07	2,989	278	108,1	8,62	298	139,3	24,04

Пропиленкарбонат — LiClO<sub>4</sub>

T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$	T, K	$\lambda_0 \cdot 10$
248	6,28	298	26,30	348	56,13
273	14,66	323	40,41		

## МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЛИТНЫХ РАСТВОРОВ. ОЧИСТКА ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ

## 5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ, ВЯЗКОСТИ, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

Плотность жидкостей чаще всего измеряют с помощью пикнометров с градуированной шейкой, объем которых составляет 5—20 мл. Пикнометры обычно калибруют при нескольких температурах по тщательно очищенной и обезгаженной воде (бидистиллированной, ионитной). Полученные значения констант аппроксимируются уравнением, по которому в случае необходимости определяется константа пикнометра при температуре ниже 273 К. Для низкотемпературных измерений калибровка пикнометра может быть произведена также по неводным растворителям. В частности, для этой цели можно рекомендовать такой растворитель, как пропиленкарбонат, который легко подвергается глубокой очистке и для которого в литературе имеются прецизионные данные по плотности в очень широком температурном интервале (см. гл. 1).

Достаточное распространение получил также отличающийся высокой точностью и чувствительностью магнитно-поплавокый метод измерения плотности, подробно описанный в работах [77, 357].

Вязкость. Коэффициент вязкости ( $\eta$ ) жидкостей, как известно, может быть найден с помощью ряда методов [358], важнейшие из которых основаны на измерении времени истечения определенного объема жидкости через капилляр с известными размерами, на определении скорости осаждения сферической частицы в жидкости, а также скорости вращения либо угла закручивания цилиндра в жидкости. На практике, благодаря значительно меньшей трудоемкости, очень часто применяют не абсолютные, а относительные методы, основанные на измерении свойств стандартной жидкости, т. е. жидкости с известной вязкостью. Наиболее распространенным является определение вязкости с помощью капиллярных вискозиметров. Истечение жидкости в таких вискозиметрах подчиняется уравнению Пуазейля [359, 360]:

$$\eta = \pi r^4 \tau (P_0 - P) / 8VI,$$

где  $\tau$  — время, за которое через капилляр с радиусом  $r$  и длиной  $l$  протекает объем жидкости  $V$  под действием собственной силы тяжести либо внешнего давления, равного разности давлений на концах капилляра.

Уравнение Пуазейля требует соблюдения целого ряда условий при прохождении жидкости через капилляр:

1) поток равномерно параллелен оси капилляра (т. е. поток должен быть ламинарным); 2) поток устойчив; 3) торможение о стенки капилляра отсутствует; 4) поток несжимаем; 5) жидкость должна истекать под действием минимальной сдвиговой силы; при этом вязкое сопротивление будет пропорционально градиенту скорости.

Отклонения от этих требований приводят к необходимости внесения соответствующих поправок. В частности, второе условие не может быть реализовано на входе и на выходе из капилляра, поскольку жидкость под действием приложенного давления не сразу достигает скорости, подчиняющейся закону Пуазейля. Таким образом, приложенное давление расходуется не только на преодоление вязких сил, но и на вывод жидкости из состояния покоя. Учет поправки на кинетическую энергию жидкости приводит к следующему уравнению:

$$\eta = \frac{\pi r^4 (P_0 - P) \tau}{8Vl} - \frac{m\rho V}{8\pi l \tau},$$

где  $m$  — числовой коэффициент (близкий к единице), учитывающий в каждом конкретном случае форму концов капилляра.

Поправка на кинетическую энергию, если измерения вязкости проводятся в достаточно узком температурном интервале, обычно не превышает 5% и может быть легко уменьшена за счет снижения скорости потока жидкости (т. е. увеличения времени истечения), а также за счет уменьшения объема истекающей жидкости (чаще всего он составляет 1—20 мл). Увеличение  $\tau$  может быть достигнуто и за счет уменьшения радиуса капилляра, однако при этом возрастает вероятность получения невоспроизводимых результатов вследствие попадания в сверхтонкие капилляры механических загрязнений (пылинок и т. п.).

Меньшая по величине поправка связана с нарушением первого условия (отклонение потока от ламинарности) при входе и выходе из капилляра и выражается как увеличение эффективной длины капилляра  $(l + \lambda)$ :

$$\eta = \frac{\pi r^4 (P_0 - P) \tau}{8V(l + \lambda)} - \frac{m\rho V}{8\pi(l + \lambda) \tau}. \quad (5.1)$$

Обычно турбулентность при истечении жидкости через равномерный капилляр возникает при числе Рейнольдса более 2000. Поэтому капиллярные вискозиметры должны иметь число Рейнольдса значительно меньше ( $< 300$ ) [360].

При измерениях вязкости в кинематических вискозиметрах (Оствальда, Уббелодде, Кеннона — Фиске и т. д.) член  $(P_0 - P)$

заменяется членом  $h_m g \rho$  и тогда уравнение (5.1) принимает вид:

$$\eta/\rho = \frac{\pi r^4 h_m g \tau}{8V(l + \lambda)} - \frac{mV}{8\pi(l + \lambda) \tau}, \quad (5.2)$$

где  $h_m$  — средняя высота столба жидкости;  $g$  — ускорение силы тяжести.

Уравнение (5.2) обычно записывается в виде [361, 362]:

$$v = A\tau - B/\tau.$$

Константы  $A$  и  $B$  находят путем построения зависимости в координатах  $v\tau - \tau^2$ . Величина  $B$  является константой только при условии постоянства величины  $m$ . Однако последняя зависит от числа Рейнольдса. В связи с этим в работе [362] было предложено для калибровки вискозиметров использовать уравнение

$$v = A\tau - E/\tau^2,$$

в котором величина  $E$  уже практически не зависит от числа Рейнольдса.

Откалиброванные по такой методике вискозиметры (следует отметить, что калибровка при этом может проводиться при какой-либо одной температуре, например, при 298 К) могут использоваться для измерения вязкости жидкостей в предельно широком температурном интервале. Необходимые для калибровки данные по свойствам чистых неводных растворителей приводятся в гл. 1 (см. табл. 1.2).

Разумеется, для калибровки вискозиметров, предназначенных для измерения вязкости неводных растворов, можно использовать и воду. В работе [363] на основе тщательно выполненных в температурном интервале 273—373 К измерений получены значения вязкости воды (они приведены также в работе [224]), которыми следует пользоваться при калибровке вискозиметров. Однако в этом случае при измерениях вязкости возникает погрешность, связанная с эффектом поверхностного натяжения, т. е. с прилипанием жидкости к стенкам сосуда над капилляром и при выходе из него. При относительных измерениях вязкости величина погрешности будет определяться различием в поверхностном натяжении калибровочной и измеряемой жидкостей и может достигать нескольких десятых процента.

Поверхностное натяжение воды и большинства неводных растворителей различается весьма существенно (см. табл. 1.2). Поэтому если для измерения вязкости неводных растворов применяют вискозиметры, откалиброванные по воде, необходимо вводить соответствующую поправку [360, 362]. Следует также отметить, что, как показано в работе [363], отклонение

оси капилляра от вертикального положения всего лишь на  $5^\circ$  приводит к погрешности в определении вязкости 0,7%.

Таким образом, прецизионные измерения вязкости жидкостей (особенно если эти измерения проводятся в широком температурном интервале) — задача достаточно сложная. Неучет перечисленных выше факторов приводит к тому, что даже для хорошо очищенных индивидуальных жидкостей разные авторы получают при 298 К значения вязкости, часто различающиеся на 2—5%.

**Электропроводность.** Стоящие перед современной физической химией неводных растворов теоретические и прикладные задачи диктуют необходимость определения электропроводности растворов электролитов в максимально возможном концентрационном и температурном интервалах [364, 365]. В этой связи повышение точности кондуктометрических измерений приобретают особую актуальность. Дело в том, что имеющиеся в литературе данные для концентрированных растворов нередко существенно различаются между собой. Так, для 1 М растворов перхлората лития при 298 К приводятся следующие значения удельной электропроводности (См/м): в пропиленкарбонате — 0,73 [203], 0,56 и 0,39 [128]; в бутиролактоне — 1,07 [203] и 0,628 [204]; в тетрагидрофуране — 0,50 [203] и 0,30 (303 К) [205]. Отчасти это объясняется различной степенью очистки исходных компонентов электролитных растворов. Однако основная причина, безусловно, кроется в самой процедуре определения электропроводности.

Несмотря на то, что бесконтактные методы измерения электропроводности продолжают совершенствоваться [366, 367], методы контактной кондуктометрии (на постоянном и особенно на переменном токе) применяются в исследованиях значительно чаще. Большинство данных по электропроводности неводных растворов получено с помощью мостов переменного тока. Конструкции целого ряда высокоточных мостов, предназначенных для прецизионных измерений электропроводности, подробно описаны в литературе [366—369].

Основное влияние на надежность получаемых экспериментальных результатов, кроме точности самого измерительного устройства, оказывают несколько факторов: а) конструкция кондуктометрической ячейки; б) ее калибровка; в) наличие частотной зависимости измеряемого сопротивления.

Конструкция ячейки должна предусматривать сведение к минимуму рассеяния силовых линий и краевых эффектов на электродах [366, 370—375]. Только в этом случае обеспечивается неизменность константы ячейки  $K_{яч}$  в широком интервале концентраций, т. е. в широком интервале значений электропроводности раствора. Однако осуществить это условие на практике бывает трудно, вследствие чего изменения  $K_{яч}$  могут до-

стигать нескольких десятков процентов [366]. Калибровка ячейки на разных частотах с последующей экстраполяцией полученных значений к бесконечной частоте позволяет полностью устранить этот нежелательный эффект и получить истинное, или «геометрическое», значение  $K_{яч}$ . Примечательно, что при этом устраняется также и зависимость  $K_{яч}$  от температуры.

Калибровку ячеек с одинаковым успехом можно осуществлять по стандартным растворам КСl [169] либо по растворам КСl произвольной (до 0,01 М) концентрации с помощью интерполяционного уравнения, описывающего электропроводность с погрешностью  $\approx 0,01\%$  [148, 366]:

$$\kappa = 149,93 \cdot 10^{-3}c - 94,65 \cdot 10^{-3}c^{3/2} + 58,74 \cdot 10^{-3}c^2 \cdot \lg c + 198,46 \cdot 10^{-3}c^2.$$

Для калибровки ячеек с малой константой ( $\approx 1 \text{ м}^{-1}$ ) предпочтительнее пользоваться вторичным стандартом Фуосса [376] — раствором  $\text{Вu}_4\text{NВPh}_4$  в дихлорэтане, обладающим низкой электропроводностью. Применение этого стандарта позволяет уменьшить поляризационную погрешность при калибровке ячеек с малой постоянной [377], однако и в этом случае желательно калибровать измерительную ячейку при разных частотах.

Влияние частоты переменного поля на результаты измерения электропроводности растворов рассмотрено в работах [366, 372], в которых проанализированы существующие методы экстраполяции измеряемого сопротивления к бесконечной (либо нулевой) частоте. Такая процедура обязательна при проведении точных кондуктометрических измерений в ячейках с гладкими платиновыми электродами. Для концентрированных (0,1 М и выше) растворов можно использовать измерительные ячейки с платинированными платиновыми электродами, в которых поляризационные погрешности сведены к минимуму. Экспериментальные данные показывают [370, 197], что оба способа определения электропроводности (в ячейках с гладкими платиновыми электродами с учетом частотной зависимости измеряемого сопротивления и в ячейках с платинированными платиновыми электродами) приводят к результатам, в пределах погрешности эксперимента совпадающим друг с другом.

При прецизионных измерениях транспортных свойств (вязкость, электропроводность) неводных растворов важное значение имеет точность термостатирования. С помощью современных термостатов, серийно выпускаемых промышленностью, нетрудно поддерживать температуру в области 293—423 К с точностью 0,005—0,01°.

Значение температурного коэффициента вязкости, как известно, предопределяет температурные изменения других тран-

спортных свойств растворов. Поскольку температурный коэффициент вязкости существенно возрастает в области низких температур, погрешность термостатирования при температурах ниже 273 К также не должна превышать 0,01°. Конструкции криостатов, позволяющих с высокой точностью поддерживать температуру в низкотемпературном интервале (до 203 К и ниже), описаны в работах [369, 378, 379]. Для достижения температур 238—233 К применяются одноступенчатые холодильные установки с фреоном-22 в качестве хладоносителя. Температуры ниже 233 К можно получить только с помощью двухступенчатых установок, в которых в качестве хладоносителя второй ступени используются фреоны 13 В1 либо 13 [380], а также с помощью криостатов на жидком азоте [379].

Для устранения погрешности, связанной с токами наводки, желательнее при измерениях электропроводности в качестве термостатирующей жидкости использовать кремнийорганические либо другие жидкие вещества с низкой электропроводностью и диэлектрической проницаемостью. С этой же целью измерительную ячейку при термостатировании помещают в металлическую экранирующую сетку.

## 5.2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АКТИВАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Теория переходного состояния приводит для температурных зависимостей вязкости и предельной ионной электропроводности к следующим уравнениям [46, 381]:

$$\eta = 1/\chi_{\eta}(hN_A/V_M) \exp(\Delta G_{\eta}^{\neq}/RT), \quad (5.3)$$

$$\lambda^i_0 = \chi_{\lambda}(zeF/6h)L_{\lambda} \exp(-\Delta G_{\lambda_0}^{\neq}/RT), \quad (5.4)$$

где  $V_M$  — мольный объем жидкости;  $L_{\lambda}$  — длина единичного скачка, совершаемого ионом в процессе миграции;  $\Delta G_{\eta}^{\neq}$  и  $\Delta G_{\lambda_0}^{\neq}$  — свободные энтальпии активации соответственно вязкого течения и ионной миграции;  $\chi_{\eta}$  и  $\chi_{\lambda}$  — трансмиссионные коэффициенты в процессах вязкого течения и миграции ионов, представляющие собой долю активированных комплексов, перешедших через потенциальный барьер в единицу времени в направлении действующей на движущуюся частицу силы.

Уравнение (5.3) выведено с учетом того, что скачок, совершаемый молекулой жидкости в процессе вязкого течения, вычисляется из среднестатистического объема, занимаемого одной молекулой жидкости, т. е.

$$L_{\eta} = (V_M/N_A)^{1/3}.$$

Как видно из уравнений (5.3) и (5.4), для расчета  $\Delta G_{\eta}^{\neq}$  необходимо знать трансмиссионный коэффициент, а для расче-

та  $\Delta G_{\lambda_0}^{\neq}$  помимо трансмиссионного коэффициента нужно располагать также сведениями о длине скачков, совершаемых ионами в процессе миграции. В общем случае эти скачки отличаются от скачков молекул растворителя в вязком течении, а зависят от размеров ионов [382].

Уравнения (5.3) и (5.4) с учетом соотношения  $\Delta G^{\neq} = \Delta H^{\neq} - T\Delta S^{\neq}$  можно переписать в виде

$$\eta = 1/\chi_{\eta}(hN_A/V_M) \exp(\Delta H_{\eta}^{\neq}/RT) \exp(-\Delta S_{\eta}^{\neq}/R), \quad (5.5)$$

$$\lambda^i_0 = \chi_{\lambda}(zeF/6h)L_{\lambda} \exp(-\Delta H_{\lambda_0}^{\neq}/RT) \exp(\Delta S_{\lambda_0}^{\neq}/R), \quad (5.6)$$

где  $\Delta H_{\eta}^{\neq}$  — энтальпия активации каждого из процессов, рассчитываемая как  $[\partial(\Delta G_{\eta}^{\neq}/T)]/[\partial(1/T)]$  ( $\eta$  — транспортное свойство);  $\Delta S_{\eta}^{\neq}$  — энтропия активации, которая в случае вязкого течения может быть легко рассчитана, если принять  $\chi_{\eta} = 1$  (рассчитанная при этом условии величина  $\Delta S_{\eta}^{\neq}$  носит название эмпирической).

В работе [383] показано, что между эмпирическими величинами  $\Delta S_{\eta}^{\neq}$  и величинами  $\Delta H_{\eta}^{\neq}$ , рассчитанными для гомологических рядов веществ, существует линейная зависимость (компенсационный эффект), позволяющая рассчитать  $\chi_{\eta}$ . Аналогичная линейная зависимость наблюдается и в случае электропроводности, если при расчете эмпирических значений  $\Delta S_{\lambda_0}^{\neq}$  допустить в первом приближении равенство длины скачков ионов и молекул растворителя, т. е.  $L_{\lambda} = L_{\eta} = (V_M/N_0)^{1/3}$ . При этом считается, что вид уравнения (5.6) не меняется при замене ионной подвижности на предельную молярную электропроводность электролита.

Связь между термодинамическими характеристиками ионных подвижностей и электропроводности электролитов определяется следующими соотношениями:

$$\Delta G_{\lambda_0}^{\neq} = \frac{1}{2} (\Delta G_{\lambda_0+}^{\neq} + \Delta G_{\lambda_0-}^{\neq}) + \frac{1}{2} RT \ln t^+ t^-;$$

$$\Delta H_{\lambda_0}^{\neq} = \Delta H_{\lambda_0+}^{\neq} t^+ + \Delta H_{\lambda_0-}^{\neq} t^-;$$

$$\Delta S_{\lambda_0}^{\neq} = \frac{1}{2} (\Delta S_{\lambda_0+}^{\neq} + \Delta S_{\lambda_0-}^{\neq} - R \ln t^+ t^-) +$$

$$+ \frac{\Delta H_{\lambda_0+}^{\neq} (t^+ - 0,5) + \Delta H_{\lambda_0-}^{\neq} (t^- - 0,5)}{T}.$$

Сопоставление изокинетических зависимостей для вязкости и электропроводности в пределах одного и того же гомологического ряда свидетельствует о том, что они совпадают друг с другом и приводят к одному и тому же значению трансмиссионного коэффициента для обоих транспортных процессов.

Зная трансмиссионные коэффициенты, можно рассчитать истинные энтропии активации вязкого течения [383]. Последние находятся в хорошем согласии с литературными данными

о структурных особенностях тех или иных жидкостей [384, 385]. В частности, для ПК и ДМСО получены положительные величины  $\Delta S_{\eta}^{\neq}$ , что свидетельствует о наличии в этих растворителях слабых водородных связей (сравнительно низкие значения  $\Delta H_{\eta}^{\neq}$ ).

Трансмиссионные коэффициенты могут быть рассчитаны как по изокINETическим зависимостям для гомологических рядов, так и по изокINETическим зависимостям, наблюдающимся для вязкого течения растворов электролитов и неэлектролитов в данной жидкости в некотором концентрационном интервале. Если зависимость  $\Delta H_{\eta}^{\neq} - \Delta S_{\eta}^{\neq}$  отклоняется от линейной (нарушение компенсационного эффекта), это свидетельствует о структурной перестройке раствора, связанной, например, с изменением состава сольватных комплексов. Аналогичный характер имеет зависимость  $\Delta H_{\lambda}^{\neq} - \Delta S_{\lambda}^{\neq}$ , рассчитанная в том же концентрационном интервале. При расчете  $\Delta S_{\lambda}^{\neq}$  предполагается, что характер ионной миграции в растворах с заданной концентрацией остается таким же, как и в предельно разбавленных растворах, т. е. вид уравнения (5.6) не меняется.

Расчетные уравнения при  $\chi=1$  (в единицах СИ):

$$\Delta G_{\eta}^{\neq} = 8,3143T (\ln \eta + \ln V_M + 14,7345);$$

$$\Delta G_{\lambda_0}^{\neq} = 8,3143T (\frac{2}{3} \ln V_M - \ln \lambda_0 + 8,6039);$$

$$\Delta H_{\eta(\lambda_0)}^{\neq} = \frac{\partial (\Delta G_{\eta(\lambda_0)}/T)}{\partial (1/T)};$$

$$\Delta S_{\eta(\lambda_0)}^{\neq} = (\Delta H_{\eta(\lambda_0)}^{\neq} - \Delta G_{\eta(\lambda_0)}^{\neq})/T.$$

### 5.3. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ

Методы очистки растворителей, принадлежащих к различным классам соединений, подробно описаны в ряде руководств [65, 76, 386, 387]. Поэтому ниже мы рассмотрим только некоторые операции и приемы, которые прошли успешную апробацию и в последнее время широко применяются как в лабораторных, так и в промышленных условиях.

Прежде всего отметим, что по возможности следует избегать химической обработки растворителей, поскольку это часто приводит к дополнительному загрязнению их электроактивными примесями [387].

Примесью, наиболее сильно влияющей на электрохимические и термодинамические свойства растворителей, является вода. В настоящее время для осушки органических растворителей широко используются синтетические цеолиты (молекулярные сита), прекрасно адсорбирующие воду. Для осушки протонных растворителей следует употреблять молекулярные сита

с диаметром пор 0,3 нм, для осушки апротонных растворителей — с диаметром пор 0,4—0,5 нм. Этот способ обезвоживания весьма эффективен. Так, пропуская несколько литров растворителя (ПК, БЛ, ДМСО, ДМФ, АН и т. д.), содержащего 0,05—0,1% (масс.) воды, через колонку, заполненную  $\approx 150$  г молекулярных сит (NaA, CaA), со скоростью 5 мл/мин, можно снизить концентрацию воды до уровня  $(3 \div 5) 10^{-3}\%$ . Адсорбционная способность цеолитов легко восстанавливается нагреванием их до температуры 623—673 К. Для ускорения регенерации через колонку в течение нескольких часов пропускают аргон. Молекулярные сита целесообразно использовать для тонкой осушки растворителя, когда содержание воды в нем не превышает 0,1%. При большем содержании воды вначале следует применять обычные обезвоживающие средства [169, 386].

Растворители с высокой температурой кипения (ПК, БЛ, ДМСО, ЭГ и т. п.) могут быть легко очищены 2—3-кратной вакуумной перегонкой (1—2 мм рт. ст.). Использование ректификационных колонок с достаточным числом теоретических тарелок ( $\geq 20$ ) позволяет с помощью однократной вакуумной перегонки снизить содержание каждой из присутствующих электроактивных примесей (в том числе воды) до уровня  $(3 \div 4) \cdot 10^{-3}\%$ . Сочетание этих двух приемов (обезвоживание на молекулярных ситах и фракционная вакуумная дистилляция) позволяет получить целый ряд апротонных диполярных растворителей с очень низкой удельной электропроводностью (см. табл. 1.2).

Глубокая очистка растворителей с высокой температурой плавления (N-МАН, ДМСО, ЭК, Сф, HCOOH, HAc и т. д.) может быть осуществлена фракционным вымораживанием [387]. В случае растворителей с низкой температурой кипения (простые эфиры, нитрилы, эфиры карбоновых кислот, некоторые циклические эфиры и т. д.) часто возникает необходимость в дополнительной очистке с помощью химических реактивов (например, для удаления пероксидов из ТГФ, 1,2-ДМЭ) [386].

Подытоживая сказанное, отметим, что в общем случае очистка растворителей состоит из следующих основных стадий: 1) фракционная перегонка (растворители с  $T_{\text{кип}} > 413$  К перегоняют под вакуумом); 2) обработка химическими реактивами; 3) обработка молекулярными ситами. Для растворителей с высокой температурой кипения часто бывает достаточно первой стадии (ПК, БЛ); иногда требуется применение первой и третьей стадий (ДМФ, ДМА и т. п.).

Для многих растворителей с низкой температурой кипения, напротив, обязательны первая и вторая стадии очистки, а к третьей стадии прибегают лишь в том случае, если за счет химической обработки содержание воды в растворителе не

Таблица 5.1. Зависимость удельной электропроводности некоторых растворителей от содержания воды (298 К)

Растворитель	$\kappa \cdot 10^6$ при содержании воды, % (масс.)								
	0,0025	0,0035	0,005	0,010	0,015	0,020	0,030	0,040	0,050
ПК	0,59	1,0	2,0	3,0	8,9	9,5	10,4	11,2	11,6
БЛ	2,0	5,6	7,9	17	26	33	40	43	—

Удается снизить до необходимого уровня. В подтверждение сказанного можно привести следующие примеры.

Метилацетат марки «ч» после предварительной фракционной перегонки длительное время (6 ч) кипятили с металлическим натрием, после чего снова подвергали фракционной перегонке; содержание воды в конечном продукте составляло  $1,9 \cdot 10^{-3}$  %.

Этилацетат марки «хч» обрабатывали безводным  $K_2CO_3$  и подвергали фракционной перегонке. Затем растворитель пропускали через колонку с молекулярными ситами типа NaA. Содержание воды в этилацетате на последней стадии снижалось с  $4,8 \cdot 10^{-2}$  до  $5,8 \cdot 10^{-3}$  %.

В качестве критерия чистоты растворителей наиболее часто пользуются величиной удельной электропроводности, которая очень чувствительна к наличию различных реакционноспособных примесей, в том числе и воды [387]. Как видно из табл. 5.1, это в особенности справедливо для высокополярных растворителей.

Более того, поскольку вода обладает уникальными сольватирующими свойствами [365], присутствие даже относительно небольших ее количеств может существенно сказаться и на электропроводности концентрированных растворов. Ниже приведена зависимость электропроводности 1 М растворов  $LiClO_4$  в пропиленкарбонате от содержания воды в растворе при 298 К:

Содержание воды, % (масс.)	0,007	0,01	0,10	1,0	2,0
$\kappa$ , См/м	0,519	0,520	0,531	0,590	0,687

Приведенные данные показывают, что концентрацию воды в растворителях и электролитных растворах можно контролировать по величине удельной электропроводности.

Молекулярные сита могут успешно применяться не только для осушки растворителя, но и для удаления воды из электролитных растворов, что особенно важно в случае солей, которые в кристаллическом состоянии трудно, а подчас и невозможно обезводить до нужной степени. Экспериментальные данные свидетельствуют, что эффективность адсорбции воды молекулярными ситами остается при этом достаточно высокой.

При применении молекулярных сит для осушки растворов литиевых солей между цеолитом и раствором происходит ионный обмен. Это приводит к появлению в растворе других ионов. Так, при использовании молекулярных сит типа NaA, NaX в растворе появляются ионы натрия. Однако, как указано в работе [387], в 1 М растворах литиевых солей при контакте с молекулярными ситами за 24 ч только 1% ионов  $Li^+$  замещается ионами  $Na^+$ . Если же электролитный раствор обезвоживали, пропуская его через колонку с молекулярными ситами (что снижает время контакта до 1—3 ч), концентрация других катионов в растворе не превышала  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Так, по данным, полученным с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра, концентрация ионов  $Na^+$  в 0,5 л 1 М раствора  $LiClO_4$  в пропиленкарбонате после 5-часового контакта с молекулярными ситами типа NaA (50 г) составляла всего  $2,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

Растворы электролитов могут быть осушены также перегонкой растворителя под вакуумом в экстракторе Сокслета, в котором находятся молекулярные сита [387]. При таком способе осушки появление в растворе каких-либо иных ионов, кроме первоначально присутствующих в растворе, исключается полностью.

Наконец, весьма эффективным является метод, основанный на отгонке небольшой части (5—10%) растворителя непосредственно из электролитного раствора.

Следует подчеркнуть одно обстоятельство, имеющее большое значение при изучении концентрированных электролитных растворов: основное количество воды, как правило, вносится в раствор с солью. Поэтому осушку солей следует проводить очень тщательно. Ряд солей (например, хлориды и бромиды щелочных металлов) можно высушивать в течение 6—8 ч в муфельной печи при температуре 573—673 К. Однако есть немало солей, которые во избежание разложения следует сушить при значительно меньшей температуре в вакууме (1—10 мм рт. ст.) в течение длительного времени (24—40 ч). Температура сушки зависит от индивидуальных особенностей соли и может колебаться в широких пределах (343—523 К).

Для того чтобы в концентрированных растворах содержание воды составляло  $(1-2) \cdot 10^{-2}$  % по массе (именно в этом случае присутствие воды не оказывает заметного влияния на электрохимические свойства растворов), концентрация  $H_2O$  в самой соли не должна превышать  $(2-5) \cdot 10^{-2}$  %. Осушка солей до такого уровня является сложной задачей, а в некоторых случаях ее вообще разрешить не удастся, что вызывает необходимость осушки непосредственно электролитных растворов. Ниже приведены данные по кинетике осушки перхлората лития квалификации «хч» при температуре 483 К и давлении

7 мм рт. ст. [ $t$  — время осушки, ч;  $\Delta$  — содержание воды в соли, % (масс.)]:

$t$ . . . . .	5	10	15	20	25	30	40
$\Delta$ . . . . .	0,1013	0,0737	0,0632	0,0514	0,0451	0,0338	0,0319

Следует отметить, что соли квалификации «хч», «чда», «ч» для использования в физико-химических исследованиях должны подвергаться 2—3-кратной перекристаллизации из рекомендованных растворителей [386, 388]. Препараты квалификации «осч» в дополнительной очистке не нуждаются, однако их осушка также является обязательной процедурой. Методы очистки различных Н- и L-кислот подробно изложены в ряде справочных пособий [65, 386, 388].

Нелишним будет напомнить, что все операции по приготовлению и измерению свойств электролитных неводных растворов (вследствие большой гигроскопичности исходных компонентов) необходимо выполнять в условиях, исключающих попадание влаги из воздуха, (в герметичных боксах с контролируемым с помощью влагомера содержанием влаги, которое не должно превышать 100 ррт).

Контроль за содержанием воды в растворителях, солях и электролитных растворах обычно осуществляют с помощью кулонометрического варианта метода Фишера [389]. При этом можно использовать различные модификации реактива Фишера [37, 389, 390]. Например, предложен реактив [37], в котором метанол заменен на этилцеллозольв. Такой реактив менее токсичен и летуч, более стабилен и позволяет определять воду в растворителях, содержащих карбонильную группу.

Содержание воды в органических растворителях может быть определено также с помощью газовой хроматографии. Этот метод чаще всего применяется для идентификации и количественного анализа различных, в том числе электроактивных, примесей в большинстве широко использующихся в химической практике растворителей (циклические эфиры, сульфосоединения, амиды карбоновых кислот и т. п.) [391—393]. Достоинством метода является его высокая чувствительность. Так, в ПК пределы определения различных примесей следующие: для воды — 1,5 ррт, окиси пропилена — 0,05 ррт, пропиленгликоля — 0,5 ррт.

Вопросы химической и электрохимической устойчивости растворителей неоднократно обсуждались в литературе [244, 387, 394, 395]. Отмечалось, что область электрохимической устойчивости органических растворителей существенно зависит от используемого фонового электролита и рабочего электрода. Данные о границах электрохимической устойчивости (область рабочих потенциалов) целого ряда органических растворителей приведены в [244].

Химическая устойчивость электролитного раствора во времени связана не только с устойчивостью самого растворителя, но во многом зависит от оптимального сочетания образующих электролитную систему компонентов. Так, было показано [396], что растворы  $\text{LiAsF}_6$  (в отличие от других солей) в смешанном растворителе ПК—АН в контакте с металлическим литием устойчивы во времени, что позволяет применять их в качестве электролитов литиевых ХИТ.

Влияние природы и строения апротонных растворителей на их стабильность по отношению к активным металлам обсуждается в работе [397].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brönsted J. N. // Chem. Rev. 1928. V. 5. N 3. P. 231—343.
2. Паркер А. // Успехи химии. 1963. № 10. С. 1270—1295.
3. Крешков А. П. Основы аналитической химии. Кн. 3. М.: Химия, 1977. 488 с.
4. Гордон Дж. Органическая химия растворов электролитов/Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 712 с.
5. Райхардт Х. Растворители в органической химии/Пер. с нем. Л.: Химия, 1973. 150 с.
6. Physical Chemistry of Organic Solvents Systems/Ed. by Covington D. K., Diskinson T. London: Plenum Press, 1973. 823 p.
7. Lemire R. J., Sears P. G. // Topics Current Chem. 1978. V. 74. N 1. P. 45—91.
8. Dawson L. R., Sears P. G. // J. Amer. Chem. Soc. 1957. N 2. P. 298—300.
9. Jones A. R., Alkens D. A. // J. Chem. Ing. Data. 1982. N 1. P. 24—25.
10. Неводные растворители/Под ред. Т. Ваддингтона/Пер. с англ. М.: Химия, 1971. 376 с.
11. Mukherjee L. M. // Crit. Reos. Anal. Chem. 1974. V. 4. N 4. P. 325—357.
12. Vaughan E. C. // J. Electroanal. Chem. 1971. N 1. P. 81—85.
13. Крестов Г. А. Термодинамика ионных процессов в растворах. Л.: Химия, 1984. 272 с.
14. Крестов Г. А., Березин Б. Д. // Химия и хим. технол. 1973. Т. 16. С. 1343—1345 (Изв. вузов).
15. Fawcett W. R., Krygowski T. M. // Austral. J. Chem. 1975. V. 28. P. 2115—2120.
16. Коппель И. А., Пальм В. А. // Реакц. способность орг. соед. 1971. № 3. С. 291—301.
17. Marcus J. // J. Solut. Chem. 1984. N 9. P. 559—564.
18. Gutmann V. // Electrochim. Acta. 1976. N 9. P. 661—670.
19. Gutmann V. // Chimia. 1977. N 1. P. 1—7.
20. Макаров-Землянский Я. Я. // Химия и хим. технол. 1981. № 10. С. 1236—1240. (Изв. вузов.)
21. Erlich R. H., Roach E., Popov A. J. // J. Amer. Chem. Soc. 1970. N 16. P. 4989—4990.
22. Мишустин А. И., Кесслер Ю. М. // Тр. Моск. хим.-технол. ин-та. 1980. № 111. С. 34—44.
23. Мишустин А. И. // Ж. физ. химии. 1981. № 1. С. 61—64.
24. Мишустин А. И. // Тр. Моск. хим.-технол. ин-та. 1982. № 121. С. 93—102.
25. Энтелис С. Г., Тигер Р. П. Кинетика реакций в жидкой фазе. Количественный учет влияния среды. М.: Химия, 1973. 416 с.



26. *Макитра Р. Г., Пириг Я. Н., Сендега Р. В., Туркевич О. Е.*//ДАН УССР. Сер. Б. 1976. № 11. С. 999—1003.
27. *Макитра Р. Г., Пириг Я. Н.*//Реакц. способность орг. соед. 1980. № 2. С. 184—205.
28. *Benoit R., Domain R.* Abstracts IV ICNAS./Ed. by V. Gutmann. Vienna, 1974. P. 10.
29. *Mayer U.*//Coord. Chem. Revs. 1976. N 2—3. P. 159—179.
30. *Kosower E. M.*//J. Amer. Chem. Soc. 1958. V. 80. P. 3253—3261.
31. *Brownstein S.*//Canad. J. Chem. 1960. V. 38. P. 1590—1596.
32. *Hildebrand J. H., Prausnitz J. M., Scott R. L.* Regular and Related Solutions. New York: Van Nost-rand-Reinhold, 1970. 228 p.
33. *Гуриков Ю. В.*//Ж. физ. химии. 1980. № 5. С. 1223—1227.
34. *Самошин В. В., Зефиоров Н. С.*//ДАН СССР. 1982. Т. 264. № 4. С. 873—875.
35. *Гутман В.* Химия координационных соединений в неводных растворах/Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 220 с.
36. *Бургер К.* Сольватация, ионные реакции и комплексообразование в неводных средах/Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 256 с.
37. *Быкова Л. Н., Петров С. И.*//ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1984. № 5. С. 541—546.
38. *Безпальный Б. Н., Александров В. В., Киреев А. А., Переселко В.*//Ж. физ. химии. 1979. № 5. С. 1339—1340.
39. *Алдарова Н. Ш., Танганов Б. Б., Хамнуев Г. Х.* Исследование физико-химических свойств растворителей. III. Определение констант автопротолиза амидных растворителей/Иркутск. ун-т, Иркутск, 1978. С. 8—13. Деп. в ВИНТИ. № 1348.
40. *Александров В. В., Киреев А. А.*//Ж. физ. химии. 1979. № 3. С. 681—684.
41. *Александров В. В.* Кислотность неводных растворов. Харьков: «Вища школа», 1981. 154 с.
42. *Фиалков Ю. Я., Житомирский А. Н., Тарасенко Ю. А.* Физическая химия неводных растворов. Л.: Химия, 1973. 326 с.
43. *Недвецкая Г. Б., Шевцова И. Я., Баранов Н. А., Юшкина И. В.* Кислотностовные свойства солей некоторых органических кислот в пропиленкарбонате/Иркутск. ун-т. 1985. 9 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкассы. 10.04.85. № 335-хп.
44. *Barthel J., Gores H. J., Schmeer G.*//Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 1979. N 9. P. 911—920.
45. *Barthel J.*//Pure a. Appl. Chem. 1979. N 10. P. 2093—2124.
46. *Глестон С. Л., Лейдлер К., Эйринг Г.* Теория абсолютных скоростей реакций/Пер. с англ. М.: Издательство, 1948. 548 с.
47. *Эрдеи-Груз Т.* Явления переноса в водных растворах/Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 596 с.
48. *Френкель Я. И.* Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, 1975. 592 с.
49. *Панченков Г. М.* Теория вязкости жидкостей. М.—Л.: Гостоптехиздат, 1947. 154 с.
50. *Cohen M. H., Turnbull D.*//J. Chem. Phys. 1959. V. 31. P. 1164—1169.
51. *Adam G., Gibbs J. H.*//J. Chem. Phys. 1965. V. 43, N 1. P. 139—146.
52. *Greenwood N. N., Thompson A.*//J. Chem. Soc. 1959. N 11. P. 3485—3492.
53. *Барбаш В. А., Карапетян Ю. А., Крысенко А. Д.* Физико-химическое исследование свойств индивидуальных Н- и L-кислот/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1986. 22 с. Деп. в УкрНИИИТИ. 06.08.86. № 1860.
54. *Greenwood N. N., Thompson A.*//J. Chem. Soc. 1959. N 11. P. 3474—3484.
55. *Рудницкая А. А., Стаднийчук П. М.* Физико-химическое исследование систем  $H_2SO_4$  — диэтиловый эфир и  $D_2SO_4$  — диэтиловый эфир/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1979. 13 с. Деп. в УкрНИИИТИ 14.06.79. № 1513.
56. *Gutmann V.*//Monatsh, Chem. 1952. V. 83. S. 164—170.
57. *Карапетян Ю. А., Лысоконь Л. Г., Эйчис В. Н.* Физико-химическое исследование некоторых неводных растворителей. Киев: Киев. политехн. ин-т, 1989. 16 с. Деп. в УкрНИИИТИ.
58. Справочник химика. 3-е изд., испр. Л.: Химия, 1971. Т. 1. 1072 с.
59. *Timmermans J.* The Physico-Chemical Constants of Binary Systems in Concentrated Solutions. New York — London: Intern. Publ. Ing., 1959. V. 1—4.
60. *Ахадов Я. Ю.* Диэлектрические свойства чистых жидкостей. М.: Изд-во стандартов, 1972. 411 с.
61. *Singh R. D., Gopal Ram.*//Bull. Chem. Soc. Japan. 1972. N 7. P. 2088—2090.
62. *Dawson R. L., Sears P. G., Grawes R. H.*//J. Amer. Chem. Soc. 1955. N 7. P. 1986—1993.
63. *Карапетян Ю. А., Кусый Ю. И., Смирнова Л. Л. и др.* Физико-химическое исследование неводных растворов ионофоров. Растворы перхлората лития в N-метилпропионамиде/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1986. 16 с. Деп. в УкрНИИИТИ. 14.03.86. № 796.
64. *Hoover T. B.*//Pure Appl. Chem. 1974. N 4. P. 579—587.
65. *Janz G. J., Tomkins R. P. T.* Non-Aqueous Electrolytes Handbook. New York — London: Academic Press, 1972. V. 1 (Part 1—4). 892 p.; V. 2 (Part 1—3). 933 p.
66. *Карапетян Ю. А., Жук Е. Г., Смирнова Л. Л., Эйчис В. Н.* Физико-химическое исследование двойных систем, образованных некоторыми 1-1-валентными электролитами с N,N-диметилформамидом/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1985. 23 с. Деп. в УкрНИИИТИ. 29.08.85. № 1992.
67. *Крысенко А. Д.* Кислотно-основное взаимодействие и механизмы переноса тока в системах, образованных Н- и L-кислотами с амидами уксусной кислоты: Дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.04. Киев, 1981. 222 с.
68. *Bhadani S. N.*//Indian J. Chem. 1972. N 1. P. 88—93.
69. *Барбаш В. А., Карапетян Ю. А., Эгерт В. И.* Физико-химическое исследование смешанных органических растворителей. I. Плотность и вязкость двойных жидких систем на основе метилацетата либо пиридина/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1986. 17 с. Деп. в УкрНИИИТИ. 03.01.86. № 147.
70. *Landolt-Börnsteins Physikalisch-Chemische Tabellen.* Berlin: Springer Verlag, 1923. Bd. 1, 2.
71. *Черный А. В., Александров В. В., Вайль Е. И., Петренко Г. Л.*//Вестн. Харьков. ун-та. 1984. № 260. С. 8—13.
72. *Sears P. G., Wilhoit E. D., Dawson L. R.*//J. Phys. Chem. 1956. N 2. P. 169—171.
73. *Isono Toshiaki*//Рикагаку кэнкюсё хококу. Repts Inst. Phys. a. Chem. Res. 1985. N 2. P. 53—79.
74. *Barthel J., Wächter R., Gores H. J.* Modern Aspects of Electrochemistry/Ed. by B. E. Conway and J. O'M. Bockris. New York: Plenum. Publ. Corp., 1979. N 13. P. 1—79.
75. *Vanewiez J. J., Maguire J. A., Skih Pong Su*//J. Phys. Chem. 1968. N 6. P. 1960—1963.
76. *Вайсбергер А., Проскауэр Э., Риддик Дж., Тунс Э.* Органические растворители/Пер. с англ. М.: Издательство, 1958. 519 с.
77. *Козлов И. Л., Новоселов Н. П.*//Тр. Моск. хим.-технол. ин-та. 1982. № 121. С. 153—158.
78. *Bicknell R. T. M., Lawrence K. G.*//J. Chem. Soc. Faraday Trans. I. 1980. V. 76. P. 637—647.
79. *Fernandez-Prini R., Atkinson G.*//J. Phys. Chem. 1971. N 2. P. 239—244.
80. *Bohne D., Fisher S., Obermeier E.*//Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 1984. N 8. P. 739—742.
81. *Житомирский А. Н., Эйчис В. Н.*//Ж. физ. химии. 1976. № 8. С. 2169.
82. *Gurry H. L., Gulkerson W. R.*//J. Amer. Chem. Soc. 1957. N 15. P. 4021—4023.

83. Philip J. G., Oakley H. B.//J. Chem. Soc. (Ind.). 1924. N 5. P. 1189—1195.
84. Ефремова Л. С., Крестов Г. А., Афанасьев В. Н. Физико-химические свойства нитрометана и растворов на его основе/Ин-т химии неводных растворов АН СССР, Иваново, 1983. 52 с. Деп. в ВИНТИ. 11.05.83. № 2531.
85. Карапетян Ю. А., Руднева С. И. Физико-химический анализ двойных жидких систем, образованных треххлористой сурьмой с простыми и сложными эфирами/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1986. 11 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 08.01.86. № 174.
86. Карапетян Ю. А., Жук Е. Г., Смирнова Л. Л., Эйчис В. Н. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы перхлората лития в метилацетате/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 15 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 06.04.87. № 1118.
87. Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н., Смирнова Л. Л. Применение изокинетического закона для расчета истинных термодинамических параметров активации вязкого течения в жидкостях/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1985. 23 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 08.08.85. № 1751.
88. Bien G. S., Kraus Ch. A., Fuoss R. M.//J. Amer. Chem. Soc. 1934. N 9. P. 1860—1865.
89. French C. M., Hart P. B.//J. Chem. Soc. 1960. N 6. P. 1671—1679.
90. Дубасова В. С., Карапетян Ю. А., Кундиренко Д. В. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы тетрафторбората лития в смешанном органическом растворителе пропиленкарбонат — диметоксиэтан/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 20 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 29.07.87. № 2209.
91. Canters G. W.//J. Amer. Chem. Soc. 1972. N 15. P. 5230—5235.
92. Barthel J., Gerber R., Gores H.-J.//Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 1984. N 7. P. 616—622.
93. Carvajal C., Tölle K. J., Smid J., Swarc M.//J. Amer. Chem. Soc. 1965. N 24. P. 5548—5583.
94. Карапетян Ю. А., Придатко И. А., Чувашкин А. Н., Эйчис В. Н. Физико-химическое исследование неводных растворов ионофоров. Растворы перхлората лития в  $\gamma$ -бутиролактоне/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 11 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 09.09.87. № 2344.
95. Плахотник В. Н., Тульчинский В. В., Вовк В. Н. и др.//Координац. химия. 1983. № 4. С. 497—501.
96. Gopal R., Singh S.//Bull. Chem. Soc. Japan. 1978. N 2. P. 671—672.
97. Карапетян Ю. А., Придатко И. А., Чувашкин А. Н., Эйчис В. Н. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы перхлората лития в пропиленкарбонате/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 16 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 07.04.87. № 1149.
98. Barthel J. e. a.//Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 1983. V. 87. N 5. P. 436—443.
99. Winsor P., Cole R. H.//J. Phys. Chem. 1982. N 13. P. 2486—2490.
100. Справочник по расплавленным солям/Пер. с англ. Л.: Химия, 1971. 168 с.
101. Lind J. E., Abdel-Renium Ir. H. A., Riddicck S. W.//J. Phys. Chem. 1966. N 11. P. 3610—3619.
102. Карапетян Ю. А., Жук Е. Г., Эйчис В. Н. Физико-химическое исследование системы  $\text{Ost}_4\text{NPr}_1$  — метилацетат/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1989. Деп. в УкрНИИНТИ.
103. Кругляк А. И., Иванова Е. Ф. Физико-химический анализ двойных жидких систем на основе этилендиамина/Харьков. ун-т, Харьков, 1984. 26 с. Деп. в УкрНИИНТИ 03.12.84. №№ 1993, 1994, 1996.
104. Aelenei N.//Bull. Inst. polytechn. Jasi. 1979. Sec. 2. V. 25. N 3—4. P. 41—44.
105. Щербань А. И., Переверткина И. В., Харитонов Г. В. Плотность и вязкость бинарных систем N,N-диметилацетамида с этиленгликолем и  $\gamma$ -бутиролактоном/Воронеж. технол. ин-т, Воронеж, 1985. 9 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкассы. 11.07.85. № 701-хп.
106. Шкодин А. М., Подоляно В. А., Грицан Л. Д.//Вестн. Харьков. ун-та. 1974. № 115. С. 32—35.
107. Борчашвили А. Э. Физико-химические свойства двойных смешанных растворителей/Всесоюз. ин-т стандартиз. средств измерения, Тбилиси, 1981. 10 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкассы. 22.04.81. № 384-хп.
108. Барбаш В. А., Жук Е. Г., Карапетян Ю. А. Физико-химические исследования смешанных органических растворителей. II. Плотность, вязкость и диэлектрическая проницаемость двойных жидких систем на основе N-метилацетамида/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1986. 12 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 05.02.86. № 422.
109. Dymond J. H., Robertson J.//Intern. J. Thermophys. 1985. N 1. P. 21—41.
110. Mishra R.//Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 1981. V. 108. N 2. P. 103—110.
111. Gill D. S.//Indian J. Chem. 1980. V. 19A. N 4. P. 313—316.
112. Горелов В. Н., Виноградов В. М., Крестов Г. А. Плотность и вязкость растворов ацетамида в одноатомных спиртах/Иванов. хим.-технол. ин-т, Иваново, 1983. 7 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкассы. 16.11.83. № 1143-хп.
113. Николайчук А. Г., Подоляно В. А. Физико-химический анализ двойной жидкой системы диметилформамид — тетрагидрофуран/Харьков. ун-т, Харьков, 1981. 13 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкассы. 10.04.81. № 338-хп.
114. Литинская В. В., Хименко М. Т., Растеряева Т. В., Павлова Л. Л. Физико-химические исследования систем диметилсульфоксидметанол и диметилсульфоксид — пропанол при разных температурах/Харьков. ун-т, Харьков, 1983. 23 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 09.02.84. № 193.
115. Werblan L., Lesinsky J.//Polish J. Chem. 1980. V. 54. N 3. P. 507—516.
116. Шахпаронов М. И. Методы исследования теплового движения молекул и строения жидкостей. М.: Изд-во МГУ, 1963. 254 с.
117. Фялков Ю. Я. Двойные жидкие системы. Киев: Техника, 1969. 218 с.
118. Фялков Ю. Я., Боровиков Ю. Я.//Ж. физ. химии. 1966. Т. 40, № 2. С. 371—376.
119. Фялков Ю. Я., Боровиков Ю. Я.//Химия и хим. технол. 1967. № 12. С. 1324—1326. (Изв. вузов.)
120. Brush S. G.//Chem. Rev. 1962. V. 62. P. 513—548.
121. Katti P. K., Chaudhri M. M.//J. Chem. Ing. Data. 1964. V. 9. N 3. P. 442—443.
122. Катков В. Ф., Колкер А. М., Сафонова Л. П. Плотность 1-1-электролитов при 233—313 К/Иванов. хим.-технол. ин-т, Иваново, 1985. 9 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкассы. 04.04.85. № 310-хп.
123. Root W. C.//J. Amer. Chem. Soc. 1933. N 3. P. 850—851.
124. Della Monica M., Ceglie A., Agostiano A.//Electrochim. Acta. 1984. N 1. P. 29—33.
125. Letellier P., Gaboriaud R., Schaal R.//J. chim. phys. et phys.-chim. biol. 1980. V. 77. N 11—12. P. 1051—1056.
126. Bruno P., Gatti C., Della Monica M.//Electrochim. Acta. 1975. N 8. P. 533—538.
127. Angell C. A.//J. Phys. Chem. 1966. N 12. P. 3988—3997.
128. Barthel J.//Pure a. Appl. Chem. 1985. N 2. P. 355—367.
129. Angell C. A.//Austral. J. Chem. 1970. N 5. P. 929—937.
130. Ionic Liquids/Ed. by D. Junman and D. G. Lovering. London: Plenum Press, 1981. 450 p.
131. Пенкина Н. В., Овчинникова Р. А., Булгаков С. А. Плотность и вязкость системы вода — мочеви́на — иодистый калий/Ред. Ж. прикл. химии, Л., 1975. 37 с. Деп. в ВИНТИ. 11.08.75. № 2435—75.
132. Пенкина Н. В., Овчинникова Р. А., Рошковский Г. В., Смаев В. Н.//Термодинамика и структура растворов. Иваново: Иванов. хим.-технол. ин-т, 1978. С. 96—98.

133. Jones G., Dole M.//J. Amer. Chem. Soc. 1929. N 10. P. 2950—2964.  
 134. Jones G., Falley S. K.//Ibid. 1933. N 2. P. 624.  
 135. Falkengagen H., Vernon E. L.//Phil. Mag. 1932. V. 14. P. 537—565.  
 136. Tomson P. T., Durbano M., Turner J., Wood R. H.//J. Solut. Chem. 1980. N 12. P. 955—976.  
 137. Krumgalz B. S.//J. Chem. Soc. Faraday Trans. I. 1980. N 6. P. 1275—1286.  
 138. Sacco A., Petrella G., Della Monica M.//J. Chem. Soc. Faraday Trans. I. 1977. N 12. P. 1836—1942.  
 139. Lawrence K. G., Bicknell R. T. M. Ibid. 1985. N 5. P. 1133—1140.  
 140. Gorski N.//Z. phys. Chem. (DDR). 1983. B. 264. N 4. S. 640—644.  
 141. Leyendekkers J. V.//J. Solut. Chem. 1979. N 12. P. 853—869.  
 142. Krumgalz B. S.//J. Chem. Soc. Faraday Trans. I. 1982. V. 78. P. 437—449.  
 143. Gill D. S., Chauhan M. S., Sekhri M. B.//Ibid. 1982. V. 78. P. 3461—3466.  
 144. Isono T.//Рикагаку кэнкюсё хококу. Repts. Inst. Phys. a. Chem. Res. 1985. N 2. P. 43—46.  
 145. Berecz E.//Magyar Kem. Folyoirat, 79 evf. 1973. P. 404—415.  
 146. Berecz E., Achs-Balla M.//Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 1973. 77. N 3. P. 267—284.  
 147. Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов/Пер. с англ. М.: Издательский, 1963. 646 с.  
 148. Методы измерения в электрохимии/Под ред. Э. Егера и А. Залкинда/Пер. с англ. М.: Мир, 1977. Т. 2. 475 с.  
 149. Fuoss R. M., Onsager L.//J. Phys. Chem. 1957. N 5. P. 668—682.  
 150. Fuoss R. M., Hsia K. L.//Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1967. V. 57. P. 1550—1557.  
 151. Fuoss R. M., Onsager L., Skinner J. F.//J. Phys. Chem. 1965. N 8. P. 2581—2594.  
 152. Pitts F.//Proc. Roy. Soc. London. Ser. A. 1953. V. 217. P. 43—70.  
 153. Chen M. S., Onsager L.//J. Phys. Chem. 1977. N 21. P. 2018—2021.  
 154. Fuoss R. M.//J. Phys. Chem. 1975. N 5. P. 525—540.  
 155. Fuoss R. M.//Ibid. 1978. N 22. P. 2427—2440.  
 156. Fuoss R. M.//Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1980. N 1. P. 34—38.  
 157. Barthel J.//Angew. Chem. 1968. V. 80. N 7. P. 253—271.  
 158. Воробьев А. Ф., Щербаков В. В., Ксенофотова Н. А.//Термодинамические свойства растворов. 1980. Вып. 111. С. 21—34. (Тр. Моск. хим.-технол. ин-та).  
 159. Крестов Г. А., Королев И. Е., Афанасьев В. Н. Развитие представлений о электропроводности растворов/Ин-т химии неводных растворов АН СССР, Иваново, 1984. 17 с. Деп. в ВИНТИ. № 2166.  
 160. Центовский В. М., Центовская В. С. Обработка экспериментальных данных по электропроводности растворов электролитов. Казань: Изд. Казан. хим.-технол. ин-та, 1974. 49 с.  
 161. Центовский В. М., Центовская В. С.//Электрохимия. 1972. № 11. С. 1636—1638.  
 162. Linert W., Rechberger P.//Comput. a. Chem. 1982. V. 6. N 3. P. 101—109.  
 163. Ebeling W., Feistel R., Geister D.//Z. phys. Chem. 1976. N 2. S. 337—353.  
 164. Ebeling W., Feistel R., Kebg G., Sandig R.//J. Non-Equilibr. Thermodyn. 1978. V. 3. N 1. P. 11—28.  
 165. Ebeling W., Grigo M.//Ann. Phys. (Leipzig). 1980. V. 37. N 1. S. 21—30.  
 166. Ebeling W., Rose J.//J. Solut. Chem. 1981. N 9. P. 599—609.  
 167. Della Monica M.//Electrochim. Acta. 1984. N 2. P. 159—160.  
 168. Термодинамические характеристики неводных растворов электролитов/Под ред. Г. М. Полторацкого. Л.: Химия, 1984. 304 с.  
 169. Справочник химика. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1965. Т. 3. 1002 с.  
 170. Tomkins R. P. T., Andalaft E., Janz G. J.//Trans. Faraday Soc. 1969. N 7. P. 1906—1911.  
 171. Kratochvil B., Yeager H. L. Conductance Electrolytes in Organic Solvents. Nonaqueous Chemistry. Berlin. etc.: Springer Verlag, 1972. P. 1—58.  
 172. Bahadur L., Ramanamurti M. V.//J. Electrochem. Soc. 1981. N 2. P. 339—343.  
 173. Gill D. S., Cheema J. S.//Z. phys. Chem. (BRD). 1983. N 1—2. S. 205—214.  
 174. Smedley St. J. The Interpretation of Ionic Conductivity in Liquids. New York — London: Plenum Press, 1980. 195 p.  
 175. Carman P. C.//J. Phys. Chem. 1970. V. 74. P. 1653—1654.  
 176. Ротинян А. Л., Тихонов К. И., Шошина И. А. Теоретическая электрохимия. Л.: Химия, 1981. 424 с.  
 177. Nicolas M., Reich R.//J. Phys. Chem. 1981. N 19. P. 2843—2851.  
 178. Seward R. P.//Ibid. 1958. N 6. P. 758—759.  
 179. Seward R. P.//J. Amer. Chem. Soc. 1951. V. 73. N 2. P. 515—517.  
 180. Mogul P. H. e. a.//J. Chem. Ing. Data. 1975. N 4. P. 409—411.  
 181. Fuoss R. M., Kraus Ch. A.//J. Amer. Chem. Soc. 1933. V. 55. P. 2387—2399.  
 182. Сухотин А. М. Вопросы теории растворов электролитов в средах с низкой диэлектрической проницаемостью. Л.: Госхимиздат, 1959. 95 с.  
 183. Grigo M.//J. Solut. Chem. 1982. N 8. P. 529—537.  
 184. Перельгин Н. С., Климчук М. А., Валеева А. А.//Ж. физ. химии. 1984. № 9. С. 2208—2211.  
 185. Reger A., Peled E., Gileadi E.//J. Phys. Chem. 1979. N 7. P. 869—873.  
 186. Nicolas M., Dartyge E.//Res. Develop. V. 1. Lyon, 1982. (33 Reun. Soc. Int. Electrochem, 6—10 Sept. 1982). P. 254—255.  
 187. Осипов О. А., Минкин В. И., Гарновский А. Д. Справочник по дипольным моментам. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1971. 416 с.  
 188. Карапетян Ю. А., Дубина С. И., Кусый Ю. И. Влияние природы растворителя и температуры на электропроводность неводных растворов перхлората лития/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1986. 9 с. Деп. в УкрНИИТИ. 14.03.86. № 799.  
 189. Ивашкевич А. Н. Кондуктометрический анализ двух- и трехкомпонентных систем, образованных бромидом тетра-*n*-бутиламмония (лития) с растворами различной природы. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Алма-Ата, 1983. 22 с.  
 190. Ивашкевич А. Н.//Ж. физ. химии. 1985. № 8. С. 2048.  
 191. Casteel J. F., Amis E. S.//J. Chem. Ing. Data. 1972. N 1. P. 55—57.  
 192. Стрельников А. А.//Ж. физ. химии. 1963. № 8. С. 1665—1668.  
 193. Фиалков Ю. Я., Тарасенко Ю. А.//Электрохимия. 1966. № 3. С. 610—612.  
 194. Фиалков Ю. Я., Кулинич Н. И., Чумак В. Л.//Там же. 1982. № 9. С. 1024—1027.  
 195. Jasinski R.//Electrochem. Technol. 1968. V. 6. N 1—2. P. 28—35.  
 196. Bonino F. Lithium Organic Electrolytes Batteries. Roma: La Ricerca Scientifica, 1981. 107 p.  
 197. Карапетян Ю. А., Белки Л. Г., Домрачева Е. П., Жук Е. Г.//Электрохимия. 1985. № 3. С. 1005.  
 198. Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н., Жук Е. Г., Кундиренко Д. В. Свойства 1 М растворов ионофоров в органических растворителях/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 18 с. Деп. в УкрНИИТИ. 22.07.87. № 2202.  
 199. Карапетян Ю. А.//Проблемы сольватации и комплексообразования в растворах. Тез. докл. Иваново, 1984. С. 416.  
 200. Домрачева Е. П., Жук Е. Г., Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н.//Сольватаци-

- онные процессы в растворах. Иваново: Иванов. хим.-технол. ин-т, 1985. С. 39—44.
201. *Гаммет Д.* Основы физической органической химии/Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 536 с.
  202. *Parker A. J., Singh P.*//J. Power Sources. 1983. N 11. P. 1—11.
  203. *Коровин Н. В.* Новые химические источники тока. М.: Энергия, 1978. 184 с.
  204. *Werblan L., Suzdorf A., Lin E.*//Polish J. Chem. 1982. N 7—9. P. 1071—1085.
  205. *Werblan L., Suzdorf A., Lesinski J.*//Bull. Acad. Pol. Ser. Sci. Chim. 1980. V. 28. N 9—10. P. 627—642.
  206. *Gilkerson W. R., Jackson M. D.*//J. Amer. Chem. Soc. 1982. N 5. P. 1218—1223.
  207. *Крюков В. В.* Термодинамика ионных процессов в системах соль калия — макроцикл — растворитель. Автореф. дис. ... канд. хим. н. 02.00.04. Киев, 1985. 16 с.
  208. *Антипин И. С., Ведерников А. Н., Коновалов А. И.*//ДАН СССР. 1985. Т. 283. № 1. С. 139—144.
  209. *Takeda Vasuyuki*//Bull. Chem. Soc. Japan. 1985. N 4. P. 1259—1261.
  210. *Tusek-Bosic Lj.*//Electrochim. Acta. 1985. N 6. P. 789—793.
  211. *Della Monica M., Ceglie A., Agostiano A.*//Electrochim. Acta. 1984. N 2. P. 161—162.
  212. *Жданов С. И., Поваров Ю. М.* Химические источники тока с электролитами на основе органических растворителей. Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Электрохимия. 1974. Т. 9. 46 с.
  213. *Измайлов Н. А.* Электрохимия растворов. М.: Химия, 1976. 488 с.
  214. *Карпетян Ю. А.*//Укр. хим. ж. 1987. № 5. С. 483—486.
  215. *Fuoss R. M.*//J. Amer. Chem. Soc. 1934. N 9. P. 1857—1859.
  216. *Клочко М. А.*//Ж. общ. химии. 1956. № 4. С. 1010—1021.
  217. *Усанович М. И.* Исследования в области теории растворов и теории кислот и оснований. Алма-Ата: Наука, 1970. 363 с.
  218. *Van Meurs N.*//Nature. 1958. N 29. P. 1532—1533.
  219. *Фиалков Ю. Я., Цендровская В. А.*//Укр. хим. ж. 1969. № 10. С. 1029—1035.
  220. *Reger A., Pelled E., Gileadi E.*//J. Phys. Chem. 1979. N 7. P. 873—879.
  221. *Карпетян Ю. А., Крысенко А. Д., Фиалков Ю. Я.*//Укр. хим. ж. 1985. № 11. С. 1172—1176.
  222. *Altani C., Jastice J. C.*//J. Solut. Chem. 1975. V. 4, N 11. P. 955—963.
  223. *Krumgalz B. S.*//J. Chem. Soc. Faraday Trans. I. 1983. V. 79. N 3. P. 571—587.
  224. Справочник по электрохимии/Под ред. А. М. Сухотина. Л.: Химия, 1981. 486 с.
  225. *Басов В. П., Карпетян Ю. А., Крысенко А. Д. и др.*//Ж. общ. химии. 1975. № 7. С. 1428—1432.
  226. *Басов В. П., Карпетян Ю. А., Крысенко А. Д., Фиалков Ю. Я.*//Укр. хим. ж. 1975. № 6. С. 582—585.
  227. *Brønsted J. N.*//Z. phys. Chem. 1934. Bd. 169 A. N 1. S. 52—74.
  228. *Lewis G. N.*//J. Franklin Inst. 1938. V. 226. N 9. P. 293—313.
  229. *Шатенштейн А. И.* Теории кислот и оснований. М.—Л.: Госхимиздат, 1949. 315 с.
  230. *Мискиджьян С. П., Гарновский А. Д.* Введение в современную теорию кислот и оснований. Киев: Вища школа, 1979. 152 с.
  231. *Басов В. П., Карпетян Ю. А.*//Химия и хим. машиностр. 1976. № 13. С. 67—69. (Вестн. Киев. политехн. ин-та).
  232. *Фиалков Ю. Я., Басов В. П., Карпетян Ю. А.*//Ж. общ. химии. 1973. № 6. С. 1209—1212.
  233. *Фиалков Ю. Я., Карпетян Ю. А., Романенко Г. М.*//ДАН УССР. Сер. Б. 1974. № 2. С. 150—152.
  234. *Фиалков Ю. Я., Житомирский А. Н., Стаднийчук П. М.*//Ж. физ. химии. 1973. № 2. С. 478—479.
  235. *Рудницкая А. А., Майоров В. Д., Либрович Н. В., Фиалков Ю. Я.*//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1981. № 5. С. 960—966; № 11. С. 2478—2484.
  236. *Карпетян Ю. А., Крысенко А. Д., Фиалков Ю. Я.*//Укр. хим. ж. 1976. № 11. С. 1210—1213.
  237. *Ибраева Т. Д., Невская Ю. А., Сумарокова Т. Н.*//Теория растворов. Алма-Ата: Изд. Казахск. ун-та, 1971. С. 306—308.
  238. *Миркин В. А., Костынюк В. П.*//Там же. С. 309—314.
  239. *Невская Ю. А., Крючкова Е. И.*//Тр. Ин-та хим. наук КазССР. 1983. № 60. С. 31—87.
  240. *Sibille S., Perichon J.*//C. r. Acad. Sci. 1971. С. 273. N 15. P. 859—862.
  241. *Карпетян Ю. А., Крысенко А. Д.*//Тез. докл. VI Всес. совещ. по физ.-хим. анализу. М.: Наука, 1983. С. 194.
  242. *Лебедев Н. Н.*//Успехи химии. 1952. № 10. С. 1399—1422.
  243. *Сурпина Л. В., Лещенко А. В., Осипов О. А.*//Ж. общ. химии. 1970. № 5. С. 975—979; № 9. С. 1915—1918.
  244. *Фиалков Ю. Я., Грищенко В. Ф.* Электровыделение металлов из неводных растворов. Киев: Наукова думка, 1985. 240 с.
  245. *Романенко Г. М.* Механизмы кислотно-основного взаимодействия, электролитической диссоциации и переноса тока в системах апротонные кислоты — апротонные органические основания. Дис. ... канд. хим. н. 02.00.04. Киев, 1974. 116 с.
  246. *Mishra A. K., Tandon K. N.*//J. Electrochem. Soc. 1974. N 1. P. 91—95.
  247. *Каневский Е. А., Бучихин Е. П., Загорская Т. В., Уланов В. И.*//Ж. неорг. химии. 1979. № 8. С. 2032—2037.
  248. *Paul R. C., Malhotra K. C.*//Z. anorg. u. allgem. Chem. 1963. B 321. N 1. S. 56—70.
  249. *Усанович М. И., Абланова Е. Х.*//Изв. АН КазССР. Сер. хим. 1968. № 1. С. 26—30.
  250. *Шевченко Ф. Д., Кузина Л. А.*//Укр. хим. ж. 1963. № 4. С. 351—356.
  251. *Назарова И. Н., Сейфулина И. И., Белоусова Е. М., Чубарь Д. И.*//Ж. общ. химии. 1973. № 7. С. 1518—1522.
  252. *Dougherty D.*//J. Amer. Chem. Soc. 1929. V. 51. N 3. P. 576—580.
  253. *Хюккель В.* Теоретические основы органической химии. М.: Госхимиздат. 1935. 582 с.
  254. *Волков С. В., Трачевский В. В., Матяцук И. В.*//ДАН СССР. 1977. Т. 232. № 6. С. 1336—1339.
  255. *Волков С. В., Матяцук И. В., Трачевский В. В., Фокина З. А.*//Укр. хим. ж. 1978. № 1. С. 5—10.
  256. *Житомирский А. Н., Стаднийчук П. М.*//Ж. физ. химии. 1974. № 9. С. 2246—2249.
  257. *Рудницкая А. А.* Связь электролитных свойств с ионно-молекулярным составом в двойных жидких системах серная (дейтеросерная) кислота — эфиры. Дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. Киев, 1982. 202 с.
  258. *Карпетян Ю. А.*//Укр. хим. ж. 1974. № 10. С. 1205—1207.
  259. Современные аспекты электрохимии/Под ред. Дж. Бокриса и Б. Конуэя//Пер. с англ. М.: Мир, 1967. 509 с.
  260. *Davies A. G., Boughan E. C.*//J. Chem. Soc. 1961. N 4. P. 1711—1723.
  261. *Измайлов А. В.*//Ж. физ. химии. 1956. Т. 30. № 11. С. 2599—2601.
  262. *Карпетян Ю. А., Рудницкая А. А.*//Укр. хим. ж. 1988. Т. 54. № 7.
  263. *Фиалков Ю. Я., Житомирский А. Н.*//Ж. неорг. химии. 1965. Т. 10. № 4. С. 934—938.
  264. *Фиалков Ю. Я., Яковлева А. В.*//Электрохимия. 1971. Т. 7. № 4. С. 590—593.
  265. *Басов В. П., Карпетян Ю. А., Крысенко А. Д. и др.*//ДАН СССР. 1973. Т. 211. № 4. С. 851—852.

266. Горенбейн Е. Я., Горенбейн А. Е.//Ж. неорг. химии. 1967. Т. 12. № 7. С. 1813—1820.
267. Горенбейн Е. Я., Кудра О. К., Горенбейн А. Е.//Ж. физ. химии. 1972. Т. 46. № 4. С. 996—997.
268. Карапетян Ю. А., Крысенко А. Д.//Укр. хим. ж. 1983. Т. 49. № 10. С. 1106—1108.
269. Басов В. П., Карапетян Ю. А., Крысенко А. Д.//Ж. физ. химии. 1974. Т. 48. № 1. С. 78—81.
270. Усанович М. И.//Ж. общ. химии. 1940. Т. 10. № 11. С. 959—961.
271. Карапетян Ю. А., Крысенко А. Д., Фиалков Ю. Я.//Ж. физ. химии. 1983. Т. 57. № 12. С. 2982—2985.
272. Басов В. П., Карапетян Ю. А., Крысенко А. Д.//Там же. 1973. Т. 47. № 5. С. 1199—1202.
273. Venkatesetty H. V., Saathoff D. J.//J. Electrochem. Soc. 1981. N 4. P. 773—777.
274. Bruno P., Della Monica M.//Electrochim. Acta. 1975. N 2. P. 179—185.
275. Васенко Е. Н.//Ж. физ. химии. 1947. Т. 21. № 8. С. 361—364.
276. Bruno P., Della Monica M.//J. Phys. Chem. 1972. N 21. P. 3034—3037.
277. Della Monica M., Petrella G., Sacco A., Costagnolo M.//Electrochim. Acta. 1979. N 2. P. 209—212.
278. Bruno P., Gatti C., Della Monica M.//Ibid. 1977. N 10. P. 1213—1218.
279. Glugla P. G., Byon J. H., Eckert Ch. A.//J. Chem. Ing. Data. 1982. N 4. P. 393—398.
280. Rebagay T. V., Casteel J. F., Sears P. G.//J. Electrochem. Soc. 1974. N 8. P. 977—982.
281. Kadish K. M., Ding J. Q., Malinski T.//Anal. Chem. 1984. N 9. P. 1741—1744.
282. Карапетян Ю. А., Фиалков Ю. Я., Эгерт В. И. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы тетрафторбората лития в N-метилпропионамиде/Киев, Киев. политехн. ин-т, 1986. 16 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 03.04.86. № 982.
283. Della Monica M.//Electrochem. Acta. 1976. N 8. P. 641—646.
284. Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н., Жук Е. Г., Лисица Е. Н. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы перхлората лития в некоторых апротонных органических растворителях/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 16 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 09.09.87. № 2346.
285. Авдеев В. П., Хомяков Е. И., Попова Е. Н., Столяренко Н. И. Исследования в области прикладной электрохимии. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1984. С. 65—69.
286. Janz G. J., Marcinkowsky A. E.//J. Electrochem. Soc. 1965. N 1. P. 104—107.
287. Ивашкевич А. Н., Костынюк В. П.//Изв. АН КазССР. Сер. хим. 1983. № 2. С. 39—43.
288. Ионин М. В., Шерстнева Т. В., Рогожина М. Б. Физико-химическое исследование системы хлорид лития — диметилсульфоксид/Ред. журн. Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. Иваново. 1977. 10 с. Деп. в ВИНТИ. 30.08.77. № 3563.
289. Crawford J. M., Gasser R. P. H.//Trans. Faraday Soc. 1967. N 11. P. 2758—2764.
290. Novak J., Kodey S., Slama J.//Collect. Czechosl. Chem. Commun. 1984. N 5. P. 1109—1115.
291. Ивашкевич А. Н., Костынюк В. П.//Изв. АН КазССР. 1982. № 4. С. 42—48.
292. Yao Neng-Ping, Bennion D. N.//J. Phys. Chem. 1971. N 23. P. 3586—3591.
293. Petrella G., Sacco A., Della Monica M.//Electrochim. Acta. 1981. N 6. P. 747—750.
294. Крунчак Е. Г., Веселовский П. Ф., Комаров Е. В.//Ж. физ. химии. 1975. Т. 49. № 8. С. 2032—2034.
295. Winsor P., Cole R. H.//J. Phys. Chem. 1982. N 13. P. 2491—2494.
296. Фиалков Ю. Я., Басов В. П.//Ж. общ. химии. 1968. Т. 38. № 1. С. 7—12.
297. Карельсон М. М., Куура Х.//Реакц. способность орг. соед. 1984. Т. 21. № 3/75. С. 330—338.
298. Басов В. П.//Ж. неорг. хим. 1967. Т. 12. № 10. С. 2872—2873.
299. Басов В. П., Бородин П. М., Кондратенков Г. П. и др.//Ж. общ. химии. 1971. Т. 41. № 6. С. 1181—1185.
300. Crickard K., Skinner J. F.//J. Phys. Chem. 1969. N 6. P. 2060—2062.
301. Lind J. E., Sageman D. R.//Ibid. 1970. N 17. P. 3269—3273.
302. Kenausis J. C., Evers E. C., Kraus Ch. A.//Proc. Nat. Acad. Sci. (USA). 1962. N 2. P. 121—128.
303. Kenausis J. C., Evers E. C., Kraus Ch. A.//Ibid. 1963. N 2. P. 141—146.
304. Longo F. R., Kerstetter J. D., Kumosinski T. F., Evers E. C.//J. Phys. Chem. 1966. N 2. P. 431—435.
305. Рудницкая А. А. Физико-химическое исследование систем H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (D<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) — этилацетат/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1980. 11 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 21.02.80. № 1920.
306. Oniski S., Farber H., Petrucci S.//J. Phys. Chem. 1980. N 22. P. 2922—2927.
307. James S. D.//J. Chem. Ing. Data. 1978. N 4. P. 313—314.
308. Дубасова В. С., Карапетян Ю. А., Кундиренко Д. В. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы тетрафторбората лития в смешанном органическом растворителе γ-бутиролактон — 1,2-диметоксигетан/Киев. политехн. ин-т, Киев, 1987. 20 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 28.07.87. № 2201 Ук-87.
309. Woodi R. H., Craff Q. D.//J. Solut. Chem. 1978. N 11. P. 799—812.
310. Barthel J., Feuerlein F.//Ibid. 1984. N 6. P. 393—417.
311. Casteel J. F., Angell J. R., Sears P. G.//J. Electrochem. Soc. 1975. N 3. P. 319—324.
312. Matsuda Y., Marita M., Kosaka K.//Ibid. 1983. N 1. P. 101—104.
313. Matsuda Y., Satake H.//Ibid. 1980. N 4. P. 877—879.
314. Пат. 2176568 Франц. Класс H 01 m 17/00/H 01 m 11/00. Perfectionnements aux electrolytes des generateurs de grande energie. (Опубл. 2.11.73 г.)
315. Пат. 2204899 Франц. Класс H 01 m 17/00/H 01 m 11/00. Generateur electrochimique de grande energie specifique. (Опубл. 24.05.74 г.)
316. Tobishima S.-I., Yamaki J.-I., Yamaji A., Okada T.//J. Power Sources. 1984. V. 13. P. 261—271.
317. Tobishima S.-I., Yamaji A.//Electrochim. Acta. 1983. N 8. P. 1067—1072.
318. Tobishima S.-I., Yamaji A.//Ibid. 1984. N 2. P. 267—271.
319. Моцев П., Шерев Г., Станева В.//Научн. тр. Пловдивски универс. Химия, 1981. Т. 119. Кн. 3. С. 141—148.
320. Moshtev R. V., Zvatilova P.//Electrochim. Acta. 1982. N 8. P. 1107—1111.
321. Verblan L., Lesinski J.//Polish. J. Chem. 1979. N 12. P. 2571—2578.
322. Соколов Л. А., Кожевникова Л. С., Чулятова М. П., Кожевников О. А. Особенности изменения некоторых физико-химических свойств при образовании растворов бромид лития — ацетонитрил — диметилэтер диэтиленгликоля/Л., Ленингр. технол. ин-т, 1980. 10 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкасы. 17.02.81. № 152.
323. Соколов Л. А., Кожевникова Л. С., Семенова З. В., Кожевников О. А. Физико-химические свойства системы бромид лития — ацетонитрил — пропиленкарбонат/Л., Ленингр. технол. ин-т, 1980. 27 с. Деп. в ОНИИТЭХим, г. Черкасы. 17.02.81. № 153.
324. Conti F., Pistoia M.//J. App. Chem. Biotechnol. 1971. N 3. P. 77—81.
325. Брагин Н. И., Авдеев В. П., Шпак И. Е., Кузнецова Л. М.//Исслед. в обл. хим. ист. тока. 1977. № 3. С. 142—145.
326. Matsuda Y., Nakashima H., Morita M., Takasu Y.//J. Electrochem. Soc. 1981. N 12. P. 2552—2556.

327. Gores H. J., Barthel J. // J. Solut. Chem. 1980. N 12. P. 939—954.
328. Карапетян Ю. А., Жук Е. Г., Смирнова Л. Л., Эйчис В. Н. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. Растворы перхлората лития в смешанном растворителе метилацетат — пропиленкарбонат/Київ. политехн. ін-т, Київ, 1988. 17 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 3.10.88. № 2518.
329. Карапетян Ю. А., Жук Е. Г., Смирнова Л. Л., Эйчис В. Н. Физико-химические исследования неводных растворов ионофоров. I M растворы перхлората лития в смешанных органических растворителях/Київ. политехн. ін-т. Київ, 1987. 23 с. Деп. в УкрНИИНТИ. 27.10.87. № 2998.
330. Меженный Я. Ф. // Ж. физ. хим. 1959. Т. 33. № 4. С. 550—553.
331. Шкодин А. М. // Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. 1961. Т. 4. № 6. С. 941—942.
332. Barthel J. e. a. // Faraday Discuss. Chem. Soc. 1977. N 64. P. 285—294; 332—353.
333. Gill D. S. // J. Chem. Soc. Faraday Trans. I. 1981. V. 77. N 4. P. 751—758.
334. Жук Е. Г., Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н. // Укр. хим. ж. 1987. Т. 53. № 7. С. 715—718.
335. Подолянюк В. А., Грицан Л. Д., Шкодин А. М. Исследование солей лития и натрия в смесях тетрагидрофурана с этиленгликолем методом электропроводности/Ред. ж. «Электрохимия», М., 1977. 10 с. Деп. в ВИНТИ, 07.06.77. № 2254.
336. Родионова Л. С., Филяновский Б. К., Петров М. Л. // Ж. общ. химии. 1985. Т. 55. № 2. С. 415—419.
337. Bhattacharyya D. N., Lee C. L., Smid J., Szwarc M. // J. Phys. Chem. 1965. N 2. P. 608—611.
338. Горенбейн Е. А., Сухан В. В. // Укр. хим. ж. 1980. Т. 46. № 4. С. 356—359.
339. Кесслер Ю. М., Уткина И. Н., Кумеев Р. С. // Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. 1985. Т. 28. № 8. С. 121—124.
340. Della Monica M., Senatore L. // J. Phys. Chem. 1970. N 1. P. 205—207.
341. Сиял В. К., Ренаут П. К. // Ж. физ. химии. 1985. Т. 59. № 6. С. 1504—1508.
342. Jenkins H. D. B., Thakur K. P. // J. Chem. Educat. 1979. V. 56. N 9. P. 576—579.
343. Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н., Эгерт В. И., Швецова И. А. Электропроводность некоторых 1-1-валентных солей в N-метилпропионамиде/Київ. политехн. ін-т, 1989. 15 с. Деп. в УкрНИИНТИ.
344. Boyd R. H. // J. Chem. Phys. 1961. V. 35. N 4. P. 1281—1283.
345. Zwanzig R. // Ibid. 1963. V. 38. N 7. P. 1603—1606.
346. Zwanzig R. // Ibid. 1970. V. 52. N 7. P. 3625—3628.
347. Hubbard J. B., Onsager L. // Ibid. 1977. V. 67. N 11. P. 4850—4857.
348. Hubbard J. B., Wolynes P. G. // Ibid. 1978. V. 69. N 3. P. 998—1006.
349. Colonomos P., Wolynes P. // Ibid. 1979. V. 71. N 6. P. 2644—2651.
350. Wolynes P. G. // Ibid. 1978. V. 68. N 2. P. 473—483.
351. Stiles P. J., Hubburd J. B., Kayser R. F. // Ibid. 1982. V. 77. N 12. P. 6189—6196.
352. Stiles P. J. // Chem. Phys. Lett. 1981. V. 80. N 1. P. 73—75.
353. Stiles P. J., Hubburd J. B. // Ibid. 1984. V. 105. N 6. P. 655—658.
354. Stiles P. J., Hubburd J. B. // Chem. Phys. 1985. N 1—2. P. 7—14.
355. Evans D. F. // J. Phys. Chem. 1979. N 20. P. 2669—2677.
356. Chen J. H., Adelman S. A. // J. Chem. Phys. 1980. V. 72. N 4. P. 2819—2831.
357. Альпер Г. А., Афанасьев В. Н., Крестов Г. А., Давыдова О. И. Исследования плотности растворов иодида натрия в некоторых бинарных органических растворителях/Ред. Ж. прикл. химии. Л., 1979. 16 с. Деп. в ВИНТИ. 16.10.79. № 3592.
358. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1975. 512 с.
359. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1973. Т. 2. 584 с.
360. Stokes R. H., Mills R. // Viscosity of Electrolytes and Related Properties. Oxford — London: Pergamon Press, 1965. 151 p.
361. Miller M. L., Doran M. // J. Phys. Chem. 1956. N 2. P. 186—189.
362. Cannon M. R., Manning R. E., Bell J. D. // Anal. Chem. 1960. N 3. P. 355—358.
363. Korson L., Drost-Hansen W., Millero F. J. // J. Phys. Chem. 1969. N 1. P. 34—39.
364. Крестов Г. А. // ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1984. Т. 29. № 5. С. 482—495.
365. Мищенко К. П., Полторацкий Г. М. Термодинамика и строение водных и неводных растворов электролитов. Л.: Химия, 1976. 328 с.
366. Грилихес М. С., Филяновский Б. К. Контактная кондуктометрия: Теория и практика метода. Л.: Химия, 1980. 176 с.
367. Лопатин Б. А. Теоретические основы электрохимических методов анализа. М.: Высшая школа, 1975. 295 с.
368. Лопатин Б. А. Кондуктометрия. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. 280 с.
369. Леденков С. Ф., Афанасьев В. Н., Ефремов Л. С. // Ж. физ. химии. 1985. Т. 59. № 8. С. 2089—2091.
370. Щербаков В. В., Воробьев А. Ф., Ксенофонтова Н. А., Седова В. А. // Тр. Моск. хим.-технол. ин-та. 1982. № 121. С. 115—127.
371. Barthel J., Feuerlein F., Neuder R. // J. Solut. Chem. 1980. N 3. P. 209—219.
372. Щербаков В. В., Силкина П. М., Ермаков В. И. // Электрохимия, 1977. Т. 13. № 4. С. 584—587.
373. Филяновский Б. К., Грилихес М. С., Артамонов Б. П. // Ж. физ. химии. 1977. Т. 51. № 8. С. 2087—2096.
374. Saulnier P., Barthel J. // J. Solut. Chem. 1979. N 12. P. 847—852.
375. Janz G. J., Tomkins R. P. // J. Electrochem. Soc. 1977. N 2. P. 55C—59C.
376. Accascina F., Petrucci S., Fuoss R. M. // J. Amer. Chem. Soc. 1959. V. 81. P. 1301—1305.
377. Артамонов Б. П., Грилихес М. С., Филяновский Б. К., Гольцин Б. Э. // Ж. прикл. химии. 1974. Т. 48, № 3. С. 588—590.
378. Wachter R., Barthel J. // Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 1979. Bd. 83. S. 634—642.
379. Максимова Н. И., Пак Ч. С., Правдин Н. Н. и др. Физико-химические свойства растворов электролитов в широком диапазоне температур и концентраций: Справ. пособие/Ред. Ж. прикл. химии, Л., 1984. 147 с. Деп. в ВИНТИ. 20.06.84. № 4113.
380. Вайнштейн В. Д., Канторович В. И. Низкотемпературные холодильные установки. М.: Пищевая промышленность, 1972. 396 с.
381. Brummer S. B., Hills G. J. // Trans. Faraday Soc. 1961. V. 57. N 10. P. 1816—1822.
382. Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н. // Укр. хим. ж. 1985. Т. 51, № 9. С. 994—995.
383. Шахпаронов М. И., Сперкач Н. С. // Ж. физ. химии. 1980. Т. 54, № 2. С. 312—315.
384. Шахпаронов М. И. Механизмы быстрых процессов в жидкостях. М.: Высшая школа, 1980. 352 с.
385. Карапетян Ю. А., Эйчис В. Н. // ДАН УССР. Сер. Б. 1985, № 11. С. 36—40.
386. Гордон А., Форд Р. Спутник химика/Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 541 с.
387. Электрохимия металлов в неводных средах/Под ред. Я. М. Колотыркина/Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 440 с.
388. Карякин Ю. В., Ангелов И. И. Чистые химические вещества. М.: Химия, 1974. 407 с.

389. *Ничеговский Г. Ф.* Определение влажности химических веществ. Л.: Химия, 1977. 200 с.
390. *Lindbeck E. R., Freund H.*//Anal. Chem. 1965. V. 37, N 13, P. 1647—1650.
391. *Reddy T. B.*//Pure a. Appl. Chem. 1971. V. 25, N 2. P. 459—464.
392. *Knecht Z. A.*//Pure a. Appl. Chem. 1971. V. 27, N 1—2. P. 281—289.
393. *Fujinada T., Izufsu K.*//Ibid. 1971. V. 27, N 1—2. P. 273—280.
394. *Кедринский И. А., Дмитренко В. Е., Поваров Ю. М., Грудянов И. И.*// Химические источники тока с литиевым электродом. Красноярск: Изд. Краснояр. ун-та, 1983. 247 с.
395. *Лидоренко Н. С., Кедринский И. А., Дмитренко В. Е., Грудянов И. И.*// ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1984. Т. 29. № 5. С. 552—560.
396. *Cedzynska K., Parker A. J., Singh P.*//J. Power Sources. 1983. N 1. P. 13—21.
397. *Barthel J., Gores J.-H., Schmeer G., Wachter R.*//Phys. a. Inorg. Chem. Berlin, 1983. P. 33—444; РЖХим 8Б 3162 (1984).

Научное издание

КАРАПЕТЯН Юрий Арутюнович  
ЭЙЧИС Валентина Николаевна

**Физико-  
химические  
свойства  
электролитных  
неводных  
растворов**

Редактор Г. Н. ГОСТЕЕВА  
Художник Е. В. БЕКЕТОВ  
Художественный редактор К. К. ФЕДОРОВ  
Технический редактор С. Ю. ТИТОВА  
Корректор М. В. ЧЕРНИХОВСКАЯ

ИБ № 1902

Сдано в наб. 28.06.88. Подп. в печать 25.01.89. Т. 05248. Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 2. Печать высокая. Гарнитура Литературная. Усл. печ. л. 16. Усл. кр.-отт. 16. Уч.-изд. л. 17,26. Тираж 3600 экз. Заказ № 389. Цена 2 р. 90 к.

Ордена Почета издательство «Химия», 107076, Москва, Стромынка, 21, корп. 2.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.