

Inhaltsverzeichnis

Molekularakustik

Von W. SCHAAFFS, Technische Universität Berlin

1	Einführung	1
1.1	Vorbemerkungen	1
1.2	Meßmethoden	2
1.3	Auswahl der Meßwerte	3
1.4	Literatur	3
1.5	Anordnung der Substanzen	4
1.6	Symbole, Definitionen und Dimensionen	4
2	Schallgeschwindigkeit in Gasen und Flüssigkeiten	6
2.1	Reine Gase und Flüssigkeiten	6
2.1.1	Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen	6
2.1.2	Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	12
2.1.2.1	Schallgeschwindigkeit und Dichte in Flüssigkeiten als Funktion der Temperatur und Struktur	12
2.1.2.1.1	Anorganische Flüssigkeiten	12
2.1.2.1.2	Organische Flüssigkeiten	15
2.1.2.1.3	Änderungen von Schallgeschwindigkeit und Dichte bei Substitutionsänderungen	40
2.1.2.1.4	Beziehungen zwischen Schallgeschwindigkeit und Dichte in Strukturisomeren	44
2.1.2.1.5	Schallgeschwindigkeit und Dichte in siliziumorganischen Verbindungen	48
2.1.2.1.6	Additive Gesetzmäßigkeiten und Regeln beim Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Molekülstruktur	49
2.1.2.1.7	Der Sprung der Schallgeschwindigkeit am normalen Siedepunkt und Schmelzpunkt	51
2.1.2.1.8	Die Schallgeschwindigkeit im Bereich des Kritischen Punktes	52
2.1.2.1.9	Schallfortpflanzung in unterkühlten Flüssigkeiten	57
2.1.2.1.10	Schallfortpflanzung in kristallinen Flüssigkeiten	60
2.1.2.2	Die Schallgeschwindigkeit als Funktion des Drucks	61
2.1.2.3	Schallgeschwindigkeit in einigen polymeren Flüssigkeiten	64
2.1.2.3.0	Einleitung	64
2.1.2.3.1	Schallgeschwindigkeit und andere Eigenschaften	64
2.1.2.4	Ultraschalldispersion in Fettsäuren	65
2.1.2.5	Verschiedene Zusammenhänge zwischen der Schallgeschwindigkeit und anderen Stoffeigenschaften	67
2.1.2.6	Die Schallgeschwindigkeit in Wasser, H ₂ O und D ₂ O	69
2.1.2.6.1	Messungen in H ₂ O und D ₂ O bei Atmosphärendruck	69
2.1.2.6.2	Messungen in H ₂ O und D ₂ O bei veränderlichen Drucken	71
2.1.3	Literatur zu 2.1	73
2.2	Gasgemische, Flüssigkeitsmischungen und Lösungen	74
2.2.0	Einführung	74
2.2.0.1	Allgemeines	74
2.2.0.2	Konzentrationsmaße bei Schallkennlinien	75
2.2.1	Schallgeschwindigkeit in binären Mischungen und Lösungen	76
2.2.1.1	Schallgeschwindigkeit in Gasgemischen	76
2.2.1.2	Schallgeschwindigkeit in binären flüssigen Systemen	78
2.2.1.2.1	Schallkennlinien binärer Mischungen organischer Flüssigkeiten	79
2.2.1.2.2	Schallkennlinien von Systemen mit Mischungslücke	93
2.2.1.2.3	Isotherm und adiabatisch aufgenommene Schallkennlinien von Lösungen	94
2.2.1.2.4	Schallkennlinien von wäßrigen Mischungen und Lösungen	99
2.2.1.3	Literatur zu 2.2.0 und 2.2.1	108

Table of contents

Molecular acoustics

By W. SCHAAFFS, Technische Universität Berlin

1	Introduction	1
1.1	Preliminaries	1
1.2	Methods of measurement	2
1.3	Selection of measured values	3
1.4	Bibliographies	3
1.5	Arrangements of substances	4
1.6	Symbols, definitions, and dimensions	4
2	Sound velocity in gases and liquids	6
2.1	Pure gases and liquids	6
2.1.1	Sound velocity in gases and vapors	6
2.1.2	Sound velocity in liquids	12
2.1.2.1	Sound velocity and density in liquids as a function of temperature and structure	12
2.1.2.1.1	Inorganic liquids	12
2.1.2.1.2	Organic liquids	15
2.1.2.1.3	Alterations of sound velocity and density with substitution changes	40
2.1.2.1.4	Relationships between sound velocity and density in structural isomers	44
2.1.2.1.5	Sound velocity and density in silicoorganic compounds	48
2.1.2.1.6	Additive conformities and rules at the interrelations between sound velocity and molecular structure	49
2.1.2.1.7	The jump of the sound velocity at the normal boiling point and melting point	51
2.1.2.1.8	The sound velocity in the range of the critical point	52
2.1.2.1.9	Sound propagation in supercooled liquids	57
2.1.2.1.10	Sound propagation in crystalline liquids	60
2.1.2.2	Sound velocity as a function of pressure	61
2.1.2.3	Sound velocity in some polymeric liquids	64
2.1.2.3.0	Introduction	64
2.1.2.3.1	Sound velocity and other properties	64
2.1.2.4	Ultrasonic dispersion in fatty acids	65
2.1.2.5	Various interrelations between sound velocity and other properties of matter	67
2.1.2.6	The sound velocity in water, H ₂ O and D ₂ O	69
2.1.2.6.1	Measurements in H ₂ O and D ₂ O at atmospheric pressure	69
2.1.2.6.2	Measurements in H ₂ O and D ₂ O at variable pressures	71
2.1.3	References for 2.1	73
2.2	Mixtures of gases, mixtures of liquids, and solutions	74
2.2.0	Introduction	74
2.2.0.1	General remarks	74
2.2.0.2	Units of concentration for sound characteristics	75
2.2.1	Sound velocity in binary mixtures and solutions	76
2.2.1.1	Sound velocity in gas mixtures	76
2.2.1.2	Sound velocity in binary liquid systems	78
2.2.1.2.1	Sound characteristics of binary mixtures of organic liquids	79
2.2.1.2.2	Sound characteristics of systems with miscibility gap	93
2.2.1.2.3	Isothermally and adiabatically measured sound characteristics of solutions	94
2.2.1.2.4	Sound characteristics of aqueous mixtures and solutions	99
2.2.1.3	References for 2.2.0 and 2.2.1	108

2.2.2	Die Schallgeschwindigkeit in wäßrigen Elektrolytlösungen	109
2.2.2.0	Einleitung	109
2.2.2.1	Schallgeschwindigkeit, Dichte und Kompressibilität als Funktion der Konzentration	110
2.2.2.2	Die Schallgeschwindigkeit als Funktion der Temperatur	118
2.2.2.3	Dispersionsproblematik	122
2.2.2.4	Schallgeschwindigkeitsänderungen bei kleinen Elektrolytkonzentrationen	123
2.2.2.5	Literatur zu 2.2.2	125
2.2.3	Die Schallgeschwindigkeit in nichtwäßrigen Elektrolytlösungen	126
3	Schallabsorption und -dispersion in Gasen und Flüssigkeiten	127
3.1	Absorption und Dispersion in Gasen	127
3.1.0	Einführung und Definitionen	127
3.1.1	Translations-Relaxation bei einatomigen Gasen	128
3.1.2	Rotations-Relaxation bei zweiatomigen Gasen	129
3.1.3	Schwingungs-Relaxation bei zweiatomigen Gasen	134
3.1.4	Schwingungs-Relaxation bei dreiatomigen Gasen	136
3.1.5	Schwingungs-Relaxation in Dämpfen mehratomiger Stoffe	138
3.1.6	Dissoziations-Relaxation	147
3.1.7	Absorption und Dispersion in Gasen mit Fremdgaszusätzen	147
3.1.8	Literatur zu 3.1	154
3.2	Schallabsorption in chemisch homogenen Flüssigkeiten	155
3.2.0	Einleitung	155
3.2.1	Schallabsorption in flüssigen Elementen	155
3.2.2	Frequenzunabhängige Anteile der Schallabsorption in organischen Flüssigkeiten	157
3.2.3	Schallabsorption in nichtassozierten anorganischen Flüssigkeiten mit einfach gebauten Molekülen	169
3.2.4	Schallabsorption in nichtassozierten, aliphatischen Kohlenwasserstoffen	170
3.2.5	Schallabsorption in ringförmigen Kohlenwasserstoffen und einigen ihrer Derivate (ohne Assoziationen)	174
3.2.6	Schallabsorption in aliphatischen, halogenhaltigen Kohlenstoffverbindungen ohne Assoziationen	178
3.2.7	Schallabsorption in nichtassozierten Äthern, Aldehyden und Ketonen	181
3.2.8	Schallabsorption in nichtassozierten Estern	183
3.2.9	Schallabsorption in Diäthylamin und Triäthylamin	187
3.2.10	Schallabsorption in Wasser, H ₂ O	188
3.2.11	Schallabsorption in Alkoholen (Assoziatbildner)	189
3.2.12	Schallabsorption in Fettsäuren	192
3.2.13	Literatur zu 3.2	194
3.3	Schallabsorption in Mischungen und Lösungen	195
3.3.0	Einleitung	195
3.3.1	Mischungen von Komponenten ohne Assoziationseigenschaften	196
3.3.2	Mischungen, bei denen eine Komponente Assoziationseigenschaften hat	199
3.3.3	Absorption in wäßrigen Lösungen	209
3.3.4	Spezifische Absorption in Lösungen höhermolekularer Stoffe	211
3.3.5	Schallabsorption und Schallabsorptionsanomalien in Flüssigkeiten höherer Viskosität, speziell in Ölen	213
3.3.6	Literatur zu 3.3	215
3.4	Schallabsorption in Elektrolytlösungen	215
3.4.1	Schallabsorption in wäßrigen Elektrolytlösungen	215
3.4.2	Literatur zu 3.4	221
3.5	Schallfortpflanzung und Depolymerisation in Polymeren	222
3.5.1	Dispersion, Absorption und Schallgeschwindigkeit	222
3.5.2	Depolymerisationseffekt	224
3.5.3	Literatur zu 3.5	226
4	Schallfortpflanzung in flüssigem Helium	227
4.1	Zustandsdiagramm des Heliums He ⁴	227
4.2	Geschwindigkeit und Absorption des gewöhnlichen Schalls: u_1 und α_1	228
4.3	Geschwindigkeit des zweiten Schalls: u_2 , (Second-Sound-Effect)	232
4.4	Literatur zu 4	233
5	Schallfortpflanzung in isotropen oder quasiisotropen festen Stoffen	234
5.0	Einleitung	234
5.1	Feste anorganische Stoffe	236
5.1.1	Nichtmetallische feste anorganische Stoffe	236

2.2.2	Sound velocity in aqueous solutions of electrolytes	109
2.2.2.0	Introduction	109
2.2.2.1	Sound velocity, density, and compressibility as a function of concentration	110
2.2.2.2	Sound velocity as a function of temperature	118
2.2.2.3	Dispersion problems	122
2.2.2.4	Sound velocity alterations at small concentrations of electrolytes	123
2.2.2.5	References for 2.2.2	125
2.2.3	Sound velocity in nonaqueous solutions of electrolytes	126
3	Sound absorption and dispersion in gases and liquids	127
3.1	Absorption and dispersion in gases	127
3.1.0	Introduction and definitions	127
3.1.1	Translation relaxation in monoatomic gases	128
3.1.2	Rotation relaxation in diatomic gases	129
3.1.3	Vibration relaxation in diatomic gases	134
3.1.4	Vibration relaxation in triatomic gases	136
3.1.5	Vibration relaxation in vapors of polyatomic substances	138
3.1.6	Dissociation relaxation	147
3.1.7	Absorption and dispersion in gases with foreign-gas additions	147
3.1.8	References for 3.1	154
3.2	Sound absorption in chemically homogeneous liquids	155
3.2.0	Introduction	155
3.2.1	Sound absorption in liquid elements	155
3.2.2	The frequency-independent portions of sound absorption in organic liquids.	157
3.2.3	Sound absorption in nonassociated inorganic liquids of simple molecules	169
3.2.4	Sound absorption in nonassociated aliphatic hydrocarbons	170
3.2.5	Sound absorption in cyclic hydrocarbons and in some of their derivates (without associations)	174
3.2.6	Sound absorption in aliphatic halogen containing carbon compounds without associations.	178
3.2.7	Sound absorption in nonassociated ethers, aldehydes, and ketones	181
3.2.8	Sound absorption in nonassociated esters	183
3.2.9	Sound absorption in diethylamine and triethylamine	187
3.2.10	Sound absorption in water, H ₂ O	188
3.2.11	Sound absorption in alcohols (associating liquids)	189
3.2.12	Sound absorption in fatty acids	192
3.2.13	References for 3.2	194
3.3	Sound absorption in mixtures and solutions	195
3.3.0	Introduction	195
3.3.1	Mixtures of components without association properties	196
3.3.2	Mixtures containing one component with association properties	199
3.3.3	Absorption in aqueous solutions	209
3.3.4	Specific absorption in solutions of higher molecular substances	211
3.3.5	Sound absorption and sound absorption anomalies in liquids of higher viscosity, especially in oils	213
3.3.6	References for 3.3	215
3.4	Sound absorption in solutions of electrolytes	215
3.4.1	Sound absorption in aqueous solutions of electrolytes	215
3.4.2	References for 3.4	221
3.5	Sound propagation and depolymerization effect in polymers	222
3.5.1	Dispersion, absorption and sound velocity	222
3.5.2	Depolymerization effect	224
3.5.3	References for 3.5	226
4	Sound propagation in liquid helium	227
4.1	Phase diagram of helium He ⁴	227
4.2	Velocity and absorption of the ordinary sound: u_1 and α_1	228
4.3	Velocity of the second sound: u_2 (second-sound-effect)	232
4.4	References for 4	233
5	Sound propagation in isotropic or quasi-isotropic solids	234
5.0	Introduction	234
5.1	Inorganic solids	236
5.1.1	Nonmetallic inorganic solids	236

X

5.1.2 Metalle	236
5.1.2.1 Schallgeschwindigkeit in Metallen	236
5.1.2.2 Schallschwächung in Metallen	239
5.1.2.3 Schallschwächung im Supraleitungsgebiet	242
5.2 Feste organische Stoffe	244
5.3 Feste Hochpolymere	245
5.4 Literatur zu 5	251
6 Stoßwellengeschwindigkeit	252
6.0 Definitionen	252
6.1 Messungen in Gasen	253
6.2 Messungen in Wasser, Quecksilber und in organischen Flüssigkeiten	254
6.3 Messungen in Metallen	256
6.4 Literatur zu 6	258

Substanzenverzeichnis

A Elemente und anorganische Verbindungen	259
B Organische Verbindungen	262
C Lösungen und Mischungen	274

5.1.2 Metals	236
5.1.2.1 Sound velocity in metals	236
5.1.2.2 Sound attenuation in metals	239
5.1.2.3 Sound attenuation in the superconducting range	242
5.2 Organic solids	244
5.3 Solid high polymers	245
5.4 References for 5	251
6 Velocity of shock waves	252
6.0 Definitions	252
6.1 Measurements in gases	253
6.2 Measurements in water, mercury, and in organic liquids	254
6.3 Measurements in metals	256
6.4 References for 6	258

Index of substances

A Elements and inorganic compounds	259
B Organic compounds	262
C Solutions and mixtures	274