
Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1. Hilfsmittel der Beschreibung von Kristalleigenschaften	1
1.1. Physikalische Größen	1
1.1.1. Größengleichungen	1
1.1.2. Einheiten und ihre Darstellung	3
1.1.3. Klassifizierung physikalischer Größen	3
1.2. Koordinatensysteme	5
1.3. Skalare, Vektoren, Tensoren	7
1.3.1. Skalare	10
1.3.2. Vektoren	11
1.3.3. Tensoren	12
1.3.3.1. Tensoren 2. Stufe	13
1.3.3.2. Tensoren höherer Stufe	14
1.3.3.3. Transformationsverhalten	15
1.3.3.4. Symmetrische und antisymmetrische Tensoren zweiter Stufe	18
1.3.3.5. Eigenvektoren und -werte bzw. Hauptrichtungen und -werte	19
1.3.3.6. Tensorflächen	21
1.3.3.7. Äußere Symmetrie von Tensoren	23
1.3.3.8. Beschreibung der inneren Symmetrie	27
1.3.3.9. Matrixschreibweise	27
1.4. Kontinuierliche Punktgruppen	28
2. Symmetrieprinzipien	32
2.1. Neumannsches Prinzip	32
2.2. Curiesches Prinzip	33
2.3. Onsager-Prinzip	34
3. Eigenschaftstensoren nullter Stufe	36
3.1. Symmetrie von Skalaren	36
3.2. Massendichte	36
3.2.1. Definition	36
3.2.2. Meßprinzip und experimentelle Ergebnisse	36
3.2.3. Atomistische Interpretation	38
3.3. Wärmekapazität	38
3.3.1. Experimenteller Befund und Definition	38
3.3.2. Thermodynamische Beziehung zu anderen Eigenschaften	41
3.3.3. Atomistische Interpretation	43
3.3.3.1. Temperaturabhängigkeit	43
3.3.3.2. Gekoppelte Schwingungen	44
3.3.3.3. Phononen	47

3.3.3.4.	DEBYESche Theorie	47
3.3.3.5.	Weitere Beiträge zur Wärmekapazität	49
3.4.	Drehung der Polarisationssebene	50
3.4.1.	Experimenteller Befund	50
3.4.2.	Symmetrieeinfluß	51
3.4.3.	Atomistische Interpretation	52
4.	Eigenschaftstensoren erster Stufe	53
4.1.	Pyroelektrizität	53
4.1.1.	Experimentelles	53
4.1.2.	Phänomenologische Beschreibung	55
4.1.3.	Atomistische Interpretation	56
4.1.4.	Anwendungen	57
4.2.	Elektrokalorischer Effekt	57
4.3.	Pyromagnetismus	58
4.3.1.	Magnetisches Moment und Antisymmetrie	58
4.3.2.	Magnetische Punktgruppen	60
4.3.3.	Experimentelles	62
4.3.4.	Phänomenologische Beschreibung und Symmetrieeinfluß	64
4.3.5.	Atomistische Interpretation	67
4.4.	Magnetokalorischer Effekt	68
5.	Deformation und Spannung	69
5.1.	Beschreibung des verformten Zustandes	69
5.1.1.	Definitionen	69
5.1.2.	Geometrische Eigenschaften des Verzerrungszustandes	71
5.2.	Beschreibung des Spannungszustandes	73
5.3.	Matrixschreibweise	75
6.	Eigenschaftstensoren zweiter Stufe	77
6.1.	Thermische Ausdehnung	77
6.1.1.	Experimenteller Befund	77
6.1.2.	Phänomenologische Beschreibung	78
6.1.2.1.	Tensor der linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten	78
6.1.2.2.	Tensorflächen	82
6.1.2.3.	Winkeländerung	84
6.1.3.	Atomistische Interpretation	85
6.1.3.1.	Wärmeschwingungen	85
6.1.3.2.	Andere Einflüsse	89
6.1.4.	Anwendungen	89
6.1.5.	Vielkristalle	90
6.2.	Thermoelastizität	91
6.2.1.	Einführung der Materialgrößen	91
6.2.2.	Inhomogene Temperaturverteilung	92
6.3.	Umkehreffekte	94
6.4.	Dielektrizitätskonstante	94
6.4.1.	Experimentelles	94
6.4.1.1.	Dielektrische Polarisierung	94
6.4.1.2.	Doppelbrechung	97
6.4.1.3.	Starke Absorption	99
6.4.2.	Phänomenologische Beschreibung	101
6.4.3.	Optik bei schwacher Absorption (Kristalloptik)	103

6.4.3.1.	Grundgleichung der Kristalloptik	103
6.4.3.2.	Lösung der Grundgleichung für eine spezielle Orientierung \vec{e}_k	105
6.4.3.3.	Lösung für beliebige Wellennormalenrichtung \vec{e}_k	107
6.4.3.4.	Strahlausbreitung	109
6.4.3.5.	Tensorflächen und Symmetrieeinfluß	111
6.4.3.6.	Reflexion und Brechung	116
6.4.3.6.1.	Einfallende Welle	116
6.4.3.6.2.	Reflektierte und gebrochene Wellen	119
6.4.4.	Optik bei starker Absorption	120
6.4.4.1.	Lösung der MAXWELLSchen Gleichungen	120
6.4.4.2.	Symmetrieeinfluß	123
6.4.4.3.	Reflexion und Brechung	123
6.4.5.	Mikroskopische Interpretation	125
6.4.5.1.	Schwache Absorption	125
6.4.5.2.	Starke Absorption	127
6.4.6.	Anwendungen	132
6.5.	Magnetische Polarisierung	132
6.5.1.	Experimenteller Befund	132
6.5.2.	Phänomenologische Beschreibung	135
6.5.3.	Atomistische Betrachtung	136
6.6.	Magnetoelektrische Polarisierung	138
6.6.1.	Experimenteller Befund	138
6.6.2.	Phänomenologische Beschreibung	139
6.7.	Drehung der Polarisations ebene und Doppelbrechung	142
6.7.1.	Experimenteller Befund	142
6.7.2.	Phänomenologische Beschreibung	143
6.7.2.1.	Gyrationstensor	143
6.7.2.2.	Lösung der Grundgleichung	144
6.7.2.3.	Symmetrieeinfluß	146
6.8.	Elektrische Leitfähigkeit	148
6.8.1.	Erfahrungstatsachen	148
6.8.2.	Phänomenologische Beschreibung	150
6.8.3.	Ströme in Platten und Stäben	152
6.8.4.	Atomistische Betrachtung des Elektronentransports	154
6.8.4.1.	Elektronen als Wellenpakete	154
6.8.4.2.	Energiespektrum	155
6.8.4.3.	Dynamik von Kristallelektronen	156
6.8.4.4.	Bewegung im elektrischen Feld	158
6.8.4.5.	Leiter — Halbleiter — Nichtleiter	158
6.8.4.6.	Elektrischer Widerstand	159
6.8.4.7.	Temperaturabhängigkeit in Metallen	161
6.8.4.8.	Temperaturabhängigkeit in Halbleitern	162
6.8.5.	Ionenleitung	163
6.8.6.	Supraleitung	163
6.8.6.1.	Experimenteller Befund	163
6.8.6.2.	Phänomenologische Beschreibung	165
6.8.6.3.	Mikroskopische Beschreibung	165
6.8.7.	Anwendungen	166
6.9.	Thermische Leitfähigkeit	167
6.9.1.	Erfahrungstatsachen	167
6.9.2.	Phänomenologische Beschreibung	170
6.9.3.	Grundgleichung des Wärmeleitungsproblems	170
6.9.4.	Einfache Lösungen	171
6.9.5.	Umkehrreffekt	173

Inhaltsverzeichnis

6.9.6.	Mikroskopische Interpretation	173
6.9.6.1.	Elektronenanteil	173
6.9.6.2.	Zusammenhang mit Wärmekapazität	176
6.9.6.3.	Wärmeschwingsanteil	176
6.9.7.	Anwendungen	177
6.10.	Thermoelektrische Effekte	178
6.10.1.	SEEBECK-Effekt	178
6.10.1.1.	Erfahrungstatsachen	178
6.10.1.2.	Phänomenologische Beschreibung	182
6.10.2.	PELTIER-Effekt	183
6.10.2.1.	Erfahrungstatsachen	183
6.10.2.2.	Phänomenologische Beschreibung	184
6.10.3.	THOMSON-Effekt	185
6.10.3.1.	Erfahrungstatsachen	185
6.10.3.2.	Phänomenologische Beschreibung	187
6.10.4.	BRIDGMAN-Effekt	188
6.10.5.	Thermodynamische Beschreibung und Zusammenspiel aller thermoelektrischen Effekte	189
6.10.5.1.	Homogene isotrope Substanzen	189
6.10.5.2.	Inhomogene isotrope Substanzen	190
6.10.5.3.	Anisotrope Substanzen	191
6.10.6.	Atomistische Interpretation der thermoelektrischen Effekte	193
6.10.6.1.	BOLTZMANN-Gleichung	193
6.10.6.2.	Kinetische Koeffizienten	195
6.10.6.3.	SEEBECK-Koeffizient	196
6.10.6.4.	Einfluß der elektronischen Struktur	197
6.10.7.	Anwendungen	198
6.11.	Diffusion	200
6.11.1.	Experimentelle Tatsachen	201
6.11.2.	Phänomenologische Beschreibung	204
6.11.2.1.	FICKSche Gesetze	204
6.11.2.2.	Einfache Lösungen	206
6.11.3.	Atomistische Vorgänge bei der Diffusion	207
6.11.3.1.	Punktfehlerbewegung	207
6.11.3.2.	Kinetik der Diffusion	208
6.11.3.3.	Korrelationseffekt	210
6.11.4.	Anwendungen	213
7.	Eigenschaftstensoren dritter Stufe	214
7.1.	Piezoelektrizität	214
7.1.1.	Experimenteller Befund	214
7.1.2.	Phänomenologische Beschreibung	218
7.1.3.	Matrixdarstellung von $\overset{3}{\rightarrow}d$	220
7.1.4.	Wirkung der Symmetrie des Materials auf die Form der Materialkonstantenmatrix	223
7.1.5.	Charakteristische Tensorflächen	225
7.1.6.	Atomistische Interpretation	227
7.2.	Reziproker piezoelektrischer Effekt	228
7.2.1.	Experimentelles	228
7.2.2.	Phänomenologische Beschreibung	229
7.2.3.	Atomistische Beschreibung	231
7.3.	Anwendungen	231
7.3.1.	Elektromechanische Kopplung	232
7.3.2.	Orientierungsabhängigkeit	235

Inhaltsverzeichnis

7.3.3.	Piezoelektrische Texturen	236
7.3.4.	Resonator	237
7.4.	Piezomagnetismus	238
7.4.1.	Experimenteller Befund	238
7.4.2.	Phänomenologische Beschreibung	239
8.	Eigenschaftstensoren vierter Stufe am Beispiel der elastischen Eigenschaften	243
8.1.	Experimenteller Befund	243
8.2.	Phänomenologische Beschreibung	246
8.3.	Symmetrieeinfluß auf die elastischen Materialgrößen	247
8.4.	Spezielle Spannungs- und Verzerrungszustände	252
8.5.	Übergang Einkristall – Vielkristall	258
8.6.	Elastische Wellen in Kristallen	260
8.7.	Zum Tensorflächenproblem	262
8.8.	Mikroskopische Deutung elastischer Konstanten	265
9.	Effekte höherer Ordnung	268
10.	Zusammenfassung aller Materialgleichungen	271
10.1.	Systeme im thermodynamischen Gleichgewicht	271
10.2.	Systeme im stationären Zustand	273
	Literaturverzeichnis	274
	Anhang	286
	Konstanten und Umrechnungsbeziehungen	286
	Tabellen A1 bis A6 und Abbildungen A1 bis A4	288
	Quellenverzeichnis	319
	Sachverzeichnis	320