

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur deutschen Ausgabe	9
Vorwort zur sowjetischen Ausgabe	11
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen	13
1. Anwendung niedriger Temperaturen	21
1.1. Kältbereiche	21
1.2. Kältetechnik	21
1.3. Zerlegung von Gasgemischen	22
1.3.1. Zerlegung der Luft	22
1.3.2. Zerlegung von heliumhaltigen Erdgasen	23
1.3.3. Zerlegung von Koksofengas	24
1.3.4. Zerlegung der gasförmigen Crack- und Pyrolyseprodukte des Erdöls	24
1.4. Verflüssigung von Gasen	24
1.4.1. Verflüssigung von Methan	24
1.4.2. Verflüssigung von Sauerstoff	25
1.4.3. Verflüssigung von Stickstoff	25
1.5. Kryotechnik	26
1.6. Gewinnung von Deuterium	27
1.7. Blaskammern	29
1.8. Infrarot-Strahlungsempfänger	33
1.9. Quantengeneratoren und -verstärker	36
1.10. Raketentechnik	40
1.11. Kryopumpen	46
1.12. Elektrische Maschinen und Geräte mit gekühlten Wicklungen	52
1.12.1. Kühlung von elektrischen Leitern auf tiefe Temperaturen	52
1.12.2. Turbogeneratoren	56
1.12.3. Transformatoren	58
1.12.4. Magnete.	60
2. Supraleiter und ihre Anwendung	61
2.1. Allgemeines	61
2.2. Ideale Supraleiter	62
2.2.1. Einteilung der Supraleiter	62
2.2.2. Sprungtemperatur	63
2.2.3. Kritische magnetische Feldstärke H_k	64
2.2.4. Ideale Leiter und Supraleiter. MEISSNER-Effekt	66

2.2.5.	Magnetische Eigenschaften sehr dünner Supraleiter	66
2.3.	Supraleiter zweiter Art	69
2.4.	Supraleitende Spulen	74
2.5.	Supraleitende Transformatoren	81
2.6.	Supraleitende Energieleitungen	83
2.7.	Kryotrons	83
2.8.	Gleichrichter unter Verwendung von Supraleitern	85
2.9.	Schweben supraleitender Körper in magnetischen Feldern. Supraleitende Lager	86
2.10.	Supraleitende elektrische Maschinen	87
2.11.	Hochfrequenztechnik	89
2.12.	Strahlungsempfänger	89
2.13.	Ausblick	90
3.	Technik der Erzeugung tiefer Temperaturen	90
3.1.	Allgemeines	90
3.2.	Einige thermodynamische Beziehungen	91
3.3.	Kälteerzeugung	94
3.4.	Kreisprozesse mit Drosselung und Kälteanlagen mit Drosselvorrichtungen	105
3.4.1.	Der Kreisprozeß mit einfacher Drosselung	105
3.4.2.	Anlagen auf der Grundlage von Kreisprozessen mit einfacher Drosselung . .	114
3.4.3.	Kreisprozesse mit Drosselung und Vorkühlung des Gases	123
3.5.	Anlagen auf der Grundlage von Kreisprozessen mit Drosselung und Vorkühlung des Gases	129
3.5.1.	Wasserstoffverflüssiger und -refrigeratoranlagen	129
3.5.2.	Verflüssigung von Neon	140
3.5.3.	Heliumverflüssiger	142
3.6.	Kreisprozesse mit Entspannung des Gases in einer Expansionsmaschine und Drosselung	150
3.7.	Wasserstoffverflüssiger und -refrigeratoranlagen mit Expansionsmaschinen	154
3.8.	Heliumverflüssiger und -refrigeratoranlagen mit Expansionsmaschinen . . .	162
3.9.	Gaskältekreisprozesse	175
3.9.1.	Der adiabatisch-isothermische Kreisprozeß.	175
3.9.2.	Der isothermisch-isochore Kreisprozeß (Kreisprozeß der Philips-Gaskältemaschine)	178
3.9.3.	Kreisprozesse mit Expansionsmaschine und mit dem Expansionszylinder vereinigttem Regenerator	193
3.10.	Kreisprozesse mit Wärmepumpe	196
3.11.	Kühlsysteme unter Verwendung von verflüssigten und verfestigten Gasen .	207
4.	Verfahren zur Erzeugung tiefster Temperaturen	211
4.1.	Kühlsysteme mit flüssigem Helium-3 und mit Helium-3-Helium-4-Lösungen .	211
4.1.1.	Helium-3-Kryostaten	211
4.1.2.	Helium-3-Helium-4-Lösungskältemaschine	214
4.1.3.	POMERANTSCHUK-Effekt.	217
4.2.	Adiabatische Entmagnetisierung	217

4.2.1.	Allgemeines	217
4.2.2.	Experimentelles	220
5.	Einige Probleme der Wärmeübertragung	223
5.1.	Besonderheiten der Wärmeübertragung bei tiefen Temperaturen	223
5.1.1.	Wärmeleitfähigkeit	223
5.1.2.	Konvektion	224
5.2.	Sieden	225
5.2.1.	Allgemeines	225
5.2.2.	Blasensieden	228
5.2.3.	Filmsieden	235
5.3.	Kondensation	240
5.4.	Thermosiphon als Wärmeübertrager	243
5.5.	Unterkühlung verflüssigter Gase durch erzwungene Verdampfung	244
5.6.	Entstehung fester Ablagerungen an kalten Oberflächen	246
5.7.	Druckverlust bei der Strömung verflüssigter Gase	246
5.8.	Strahlung	256
6.	Wärmeisolation. Lagerung und Transport verflüssigter Gase	262
6.1.	Anforderungen an die Wärmeisolation	262
6.2.	Hochvakuumisolation	262
6.2.1.	DEWAR-Gefäße	262
6.2.2.	Wärmeleitung der Restgase	263
6.2.3.	Strahlung	266
6.2.4.	Wärmeleitung der Rohre, Stützen und Aufhängungen	267
6.3.	Wärmeisolation mit porösen Isolierstoffen	268
6.4.	Vakuumpulverisolation	270
6.5.	Vakuumvielschichtisolation	273
6.6.	Behälter zur Lagerung und zum Transport von verflüssigten Gasen	273
6.7.	Umfüllen von verflüssigten Gasen durch Rohrleitungen	285
7.	Thermometrie. Kryostaten. Niveauanzeiger	289
7.1.	Temperaturmessung	289
7.1.1.	Problemstellung	289
7.1.2.	Gasthermometer	290
7.1.3.	Dampfdruckthermometer	292
7.1.4.	Thermoelemente	293
7.1.5.	Widerstandsthermometer	297
7.1.6.	Eichung von Sekundärthermometern	305
7.2.	Thermostatierung	307
7.3.	Kryostaten	312
7.3.1.	Glaskryostaten	314
7.3.2.	Metallkryostaten	315
7.3.3.	Verwendung von Kunststoffen	324
7.3.4.	Vorkühlung	325
7.3.5.	Dichtungen für lösbare Verbindungen. Dichte unlösbare Verbindungen von Bauelementen	326
7.3.6.	Stromzuführungen	331

7.3.7.	Umfülleinrichtungen (Heber)	334
7.4.	Niveauanzeiger und Niveaufühler.	337
7.5.	Automatische Niveaueinstellung von verflüssigten Gasen	345
8.	Eigenschaften der Werkstoffe bei tiefen Temperaturen	350
8.1.	Spezifische Wärme fester Körper	350
8.2.	Wärmeausdehnungskoeffizienten	355
8.3.	Elektrische Leitfähigkeit	358
8.4.	Wärmeleitfähigkeit	364
8.4.1.	Metalle	364
8.4.2.	Legierungen	365
8.4.3.	Nichtmetallische Werkstoffe	365
8.5.	Mechanische Eigenschaften der wichtigsten Konstruktionswerkstoffe	368
8.5.1.	Metalle und Legierungen	368
8.5.2.	Nichtmetallische Werkstoffe	381
8.6.	Eigenschaften elektrischer Isolierstoffe	385
Anhang	392
A.1.	Wichtige Größen	392
A.2.	Umrechnung von Einheiten	392
A.3.	Physikalische Eigenschaften einiger Gase	395
A.4.	Wärmeübertragung und Thermometrie	405
Literatur.	417
Sachverzeichnis	433