



目 次

低温実験に利用される各種物性の図・表一覧……………i~iv

I. 低温の基礎的技術

1. 低温実験室	菅原 忠
1.1 計 画 ……………	1
A. 液化機を設置するか, しないか…(2)／ B. 実験室の位置…(2)／ C. 実験室の構造…(2)／ D. 高圧ガス関係法規…(3)	
1.2 液化機室 ……………	3
1.3 実験室と設備 ……………	5
A. ヘリウムガスの回収配管…(5)／ B. 電気, 水道…(6)／ C. 真空ポンプ…(6)／ D. 電磁石…(6)／ E. 架台…(7)／ F. シールド…(9)／ G. その他…(9)	
2. 寒剤とその性質	菅原 忠
2.1 ヘリウム ……………	12

	A. ヘリウム 4 (^4He)...(12) /	B. ヘリウム 3 (^3He)...(17) /	C. ヘリウム 3-ヘリウム 4 混合液...(19)
2.2	水素 (重水素, 三重水素) 20		
	A. オート・パラ水素...(20) /	B. 液体水素の性質...(21) /	C. 液体重水素...(23)
2.3	ネオオン 24		
2.4	窒素 N_2 24		
2.5	酸素 O_2 26		
2.6	空気 28		
	文献 28		

3. ガスの液化

永野 弘

3.1	ガスの性質 33		
	A. ガスの沸点, 三重点, 蒸気圧など...(33) /	B. 液化に用いる図表...(35) /	C. ガスの粘性と熱伝導率...(39) /
	D. 比熱...(41) /	E. 逆転曲線...(42)	
3.2	冷凍サイクル 44		
	A. 液化の理想サイクル...(44) /	B. 蒸気圧縮カスケード法...(46) /	C. リンデサイクル...(46) /
	D. クロードサイクル...(49) /	E. 逆スターリングサイクル...(52) /	F. サイモンの単一膨張法と脱着法...(56) /
	G. ジフォード・マクマホンサイクル...(58)		
3.3	液化装置における断熱法 59		
	文献 62		

4. 熱伝達と熱絶縁

菅原 忠

4.1	固体による熱伝導 66		
	A. 熱伝導の計算...(66) /	B. 各種固体の熱伝導の機構と特長...(69) /	C. 熱伝導率の近似的な計算...(70)
4.2	ガス分子による熱伝導 71		
	A. 平均自由行程が短い場合...(72) /	B. 平均自由行程が長い場合...(72)	

4.3	輻射伝熱	73
4.4	境界面での熱伝達, Kapitza の熱抵抗	75
4.5	熱伝達の応用・試料の冷却	77
	A. 固体を通して冷却する場合…(77) / B. 断熱空間中の試料の冷却…(77)	
	/ C. 接触部分の伝熱…(77)	
4.6	固体伝熱の防止, 熱アンカー	78
4.7	真空断熱, ガス分子伝熱の防止	79
4.8	熱シールド, 輻射伝達の防止	80
4.9	粉末絶縁, スーパー・インシュレーション	81
4.10	熱スイッチ	82
	A. 機械的熱スイッチ…(83) / B. 超伝導熱スイッチ…(83) / C. グラフ	
	ァイト熱スイッチ…(86)	
4.11	振動と電波による熱発生の防止	86
4.12	真空技術 (付)	87
	A. 真空ポンプ…(87) / B. 配管と排気速度…(87) / C. 真空度の測定…	
	(90) / D. 真空漏れの検出, リーク・ディテクター…(92) / E. 真空装置	
	の材料, 接続…(93)	
	文 献	95

5. 寒剤の貯蔵と移送

早坂啓一・菅原 忠

5.1	貯蔵デュワー	98
	A. 液体窒素用デュワー…(98) / B. 液体水素, ヘリウム用デュワー…(99)	
	/ C. 熱流入の計算…(99) / D. 液体水素の貯蔵…(102) / E. 寒剤の	
	突沸現象…(102) / F. 大型貯槽…(104)	
5.2	液 面 計	104
	A. 浮力を利用する液面計…(105) / B. 気柱の振動の変化を利用する液面	
	計…(105) / C. 抵抗の変化を利用する液面計…(106) / D. キャパシタンス	
	の変化を利用する液面計…(107) / E. 静水圧を利用する液面計…(107)	
5.3	移 送	108

A. 予冷…(108)／	B. サイフォン…(109)／	C. 移送の方法…(110)
文 献 …………… 112		

6. クライオスタットの設計と製作

田沼静一

6.1	クライオスタットの一般論 ……………	113
6.2	寒剤貯蔵容器内の実験装置 ……………	119
6.3	一般的なガラス・デュワーのクライオスタット ……………	120
6.4	一般的な金属デュワーの設計 ……………	125
6.5	きわめて細い液体ヘリウム用デュワー ……………	128
6.6	液体 ^4He をなるべく低温度まで下げるクライオスタット ……………	129
6.7	窓のあるヘリウム・デュワー ……………	132
6.8	機械的性質測定用のデュワー ……………	134
6.9	試料にはいる熱量の正確な測定を必要とするクライオスタット ……	135
6.10	クライオスタット設計製作における諸種の技術 ……………	137
	A. リード線の出し方, リード線の太さ…(137)／	B. コンテナのふたの 取付け取外し…(139)
	文 献 ……………	141

7. 温度制御

田沼静一

7.1	低温での温度制御 ……………	143
7.2	液体寒剤の蒸気圧制御——マノスタット ……………	144
	A. 排気回路と手動制御…(144)／	B. 機械的なマノスタット…(146)
7.3	ヒーターの電氣的制御による方法 ……………	148
7.4	寒剤液体の沸点以上での温度制御 ……………	151
	A. 気体の伝熱を利用する方法…(151)／	B. 固体の伝熱を利用する方法… (151)／
	C. 液体寒剤の蒸発経路の工夫——Swenson の方法など…(152)	
7.5	活性炭からのガスの脱着を用いる方法 ……………	153
	文 献 ……………	154

8. 温度測定

田沼静一

- 8.1 絶対温度と国際温度目盛 155
 A. 絶対温度...(155)/ B. 国際温度目盛...(157)/ C. 温度の定点...(158)
 / D. 低温での国際実用温度目盛...(159)/ E. 二次基準温度としての
 H_2 , Ne, N_2 , O_2 の蒸気圧と温度の関係...(161)
- 8.2 低温用温度計の種類と感度 163
- 8.3 気体温度計 164
 A. 気体温度計とその較正...(164)/ B. 気体温度計の感度...(166)/ C.
 気体温度計の製作上の注意...(167)/ D. 差圧形気体温度計...(168)/ E.
 誤差の原因と補正...(169)
- 8.4 蒸気圧温度計 170
- 8.5 熱電対 173
- 8.6 電気抵抗温度計 175
 A. 金属抵抗温度計...(175) B. 半導体抵抗温度計...(176)\ C. 炭素抵
 抗温度計...(177)
- 8.7 磁気温度計 179
- 8.8 その他の温度計 181
 A. 半導体ダイオード...(181)/ B. メスバウアー効果その他原子核のゼー
 マン準位の利用...(181)/ C. 雑音温度計...(183)
- 文 献 183

9. 3He クライオスタットと 3He - 4He クライオスタット

佐々木亘・小川信二

- 9.1 はしがき 185
- 9.2 3He クライオスタット 186
 A. クライオスタットの構成と操作...(186)/ B. 熱的考察...(187)/
 C. 実例...(190)
- 9.3 3He - 4He 混合熱を利用するクライオスタット 194
 A. 冷却力...(195)/ B. 熱交換器...(196)/ C. 蒸発室...(198)/

D. 実例と最低温度…(199)

9.4	追記	200
	文献	201

10. 断熱消磁

大塚泰一郎・大坪秋雄

10.1	はじめに	203
10.2	冷媒としての常磁性塩	204
	A. 基礎的性質…(204)／ B. 代表的な冷媒…(208)	
10.3	熱絶縁と熱伝達	209
	A. 熱絶縁…(209)／ B. 熱伝達…(215)／ C. 熱伝達の動的過程…(222)	
10.4	温度測定	224
	A. 磁気温度計…(225)／ B. 二次温度計…(233)	
10.5	実験装置	234
	A. 一般装置…(234)／ B. 断熱容器…(237)／ C. 低温部装置…(239)	
10.6	核断熱消磁	242
	A. まえがき…(242)／ B. 核断熱消磁の熱的考察…(243)／ C. 核磁性…(251)／ D. 各種実験装置と実験結果…(253)	
	あとがき	262
	文献	263

11. 低温機器用の材料

田沼静一・永野 弘・菅原 忠

11.1	構造材料	269
	A. 金属材料…(270)／ B. 非金属材料…(276)	
11.2	諸種の材料の低温特性と使用法	280
	A. 接着剤, 接合用材料…(280)／ B. 熱絶縁材料…(283)／ C. 熱伝達材料…(285)／ D. 特殊用途の材料…(288)	
	文献	291

II. 低温における物理実験

12. 熱的性質の測定

武藤芳雄

- 12・1 比 熱297
 A. 断熱法...(297)/ B. その他の比熱測定法...(306)/ C. 解析について
 ...(308)
 12・2 熱 伝 導310
 A. 定常熱流法...(310)/ B. 解析について...(314)
 文 献316

13. 電気的性質の測定

田沼静一

- 13・1 金属の電気抵抗319
 13・2 電気抵抗または電圧の測定322
 A. 改良型ホイートストン橋...(322)/ B. 電位差計法...(322)/ C. 逆転
 スイッチと超伝導検流計...(325)/ D. 誘導起電力による方法...(326)
 13・3 リード線の選択と接着329
 文 献330

14. 磁氣的性質の測定

小林はな子・田沼静一

- 14・1 交流磁化率333
 A. 交流磁化率と静的磁化率...(333)/ B. 相互誘導による測定...(335)/
 C. 自己誘導による測定...(342)/ D. 実験例...(342)
 14・2 ドハース・ファンアルフェン効果344
 A. はじめに...(344)/ B. 磁界変調法...(346)/ C. トルク法...(353)/
 D. 磁界角度掃引法...(355)/ E. パルス磁界法...(356)
 文 献359

15. 光学的性質の測定

辻川郁二・白鳥紀一・永田一清

- 15・1 序361
 15・2 可視・紫外領域測定362

15.3	赤外領域測定	367
15.4	光学窓のとりつけ	367
15.5	遠赤外領域測定	369
	A. はじめに…(369)/ B. 室温の検知器を用いる場合…(370)/ C. 低温の検知器を用いる場合…(371)	
	文 献	377

16. 超伝導の実験

大塚泰一郎・安河内昂・碓井信光

16.1	まえがき	381
16.2	基礎的事柄	382
	A. 基礎的事実…(382)/ B. 各種臨界量と2種の超伝導…(382)/ C. 超伝導の熱力学…(384)/ D. 電磁氣的性質…(386)/ E. 微視理論…(388)/ F. 巨視的量子化と超流動的性質…(392)	
16.3	実験の大要	393
16.4	基礎量の測定	394
	A. 磁界下での超伝導体…(394)/ B. 熱力学的臨界磁界 H_c の測定…(396)/ C. 転移温度 T_{c0} の測定…(402)/ D. エネルギー・ギャップ $\Delta(T)$ の測定…(404)	
16.5	表面エネルギーとそれに附随する現象	414
	A. 過冷却磁界 H_s …(415)/ B. SN 境界の伝ぱん速度…(416)/ C. 中間状態の磁化曲線…(416)/ D. 中間状態の分域構造…(416)	
16.6	混合状態 (平衡状態)	417
	A. 臨界磁界…(417)/ B. エネルギー・ギャップ…(417)/ C. 量子磁束線の配列構造…(418)	
16.7	サイズ効果	418
16.8	巨視的量子化現象の実験	418
	A. 磁束量子化…(418)/ B. ジョセフソン効果…(418)	
16.9	超伝導マグネットの線材	420
	A. 高磁界超伝導体と第2種超伝導…(420)/ B. 非理想的第2種超伝導…	

	(422)/ C. 超伝導線材およびコイルの安定化…(427)/ D. 磁束のジャンプと断熱的安定性…(428)/ E. 動的安定性…(430)/ F. 本質的安定化線…(431)/ G. 液体ヘリウムによる冷却と安定化…(434)	
16・10	超伝導マグネットの設計方針 ……………	439
	A. 大型マグネット…(439)/ B. 小型マグネット…(441)/ C. 中型マグネット…(441)	
16・11	測定装置への超伝導の応用 ……………	444
	A. 応用原理…(445)/ B. 応用例…(448)	
	文 献 ……………	452

17. 超流動の実験

長谷田泰一郎・生嶋 明

17・1	序 ……………	461
17・2	He II の発見から二流体モデルまで ……………	463
	A. 初期の実験…(463)/ B. 理論の発想と発見…(471)	
17・3	超流動の本質を追及した実験 ……………	473
	A. 二流体モデルの実証…(473)/ B. フォノン, ロトンの実証…(491)/ C. vortex の実験…(497)/ D. 超伝導体とのアナロジー…(507)	
17・4	^3He - ^4He 混合液の研究 ……………	510
	A. 液相図の決定——二相分離の検出…(510)/ B. 固液相の平衡…(512)/ C. 希釈冷凍の基礎実験…(512)	
17・5	最近の話題 ……………	513
	A. 素励起スペクトルの構造…(513)/ B. 液体ヘリウムでの光散乱の実験…(513)/ C. ラムダ点近傍での臨界現象…(516)/ D. 第一音波の実験…(517)/ E. ヘリウム中の荷電粒子…(519)	
17・6	付表 (液体ヘリウムの熱的性質に関するデータ) ……………	520
	文 献 ……………	523

付 録 ……………	529
-----------	-----

付表 1	国際実用温度目盛, IPTS-68 の定義定点 ……………	530
------	-------------------------------	-----

付表 2	A. 液体 ^4He の飽和蒸気圧と温度の関係—1958 年目盛— ……………	530
------	--	-----

付表 2	B. 液体 ^3He の飽和蒸気圧と温度の関係—1962 年目盛—	535
付表 3	e- H_2 , N_2 , O_2 の飽和蒸気圧と温度の関係	539
付表 4	T_{68} , T_{58} , T_{62} によって求められた補助定点	541
付表 5	常磁性系の熱力学関数	542
索引		1~11

