



# 目 次

## 序

## 第 I 部 素励起の種族

第 1 章 結晶とフォノン	3
§ 1.1 巨視的物体における秩序と素励起	3
§ 1.2 1次元モデル	5
a) 1次元格子 (5)    b) 格子振動 (7)    c) 2原子結晶 (9)	
§ 1.3 3次元結晶	10
a) 格子と逆格子 (10)    b) 調和近似のハミルトニアン (13)	
c) 周期結晶の振動 (16)	
§ 1.4 振動の量子化	18
a) フォノン (18)    b) フォノン気体の比熱 (19)    c) 生成・消滅演算子 (20)	
d) 運動方程式 (22)	
§ 1.5 Mössbauer 効果 (固体の剛体性)	22
a) 反跳エネルギー分布の一般式 (24)    b) Bloch-De Dominicis の定理の応用 (25)	
c) 無反跳 $\gamma$ 線の強度 (27)	
§ 1.6 中性子非弾性散乱とフォノン・スペクトル	29
a) Van Hove の公式 (29)    b) 調和近似における動的構造因子 (30)	
§ 1.7 非調和項の効果	32
a) スペクトル関数の一般的定義 (34)    b) 遅延 Green 関数 (35)	
§ 1.8 温度 Green 関数と摂動展開	37
a) 温度 Green 関数 (37)    b) 摂動展開 (38)    c) フォノンの自己エネルギー (41)	
§ 1.9 量子固体	43
a) 結晶の点欠陥 (43)    b) 量子固体中の点欠陥 (44)    c) 結晶の一般的定義 (46)	

第 2 章	分極波と誘電分散	49
§ 2.1	光学型格子振動と誘電分散	49
	a) イオン間長距離力の電場へのくりこみ (50)    b) 誘電分散 (54)    c) 格子の固有振動 (56)	
§ 2.2	分極率と誘電率	59
	a) 分極率の一般公式 (60)    b) 誘電率と分極率の関係 (63)	
	c) 光学型格子振動への応用 (64)    d) 電子ガスのプラズマ振動と遮蔽効果 (67)    e) 誘電体によるエネルギーの吸収 (69)	
§ 2.3	エクシトン	72
	a) Frenkel 型エクシトン (72)    b) Wannier-Mott 型エクシトン (76)    c) 多電子系の励起状態 (78)	
§ 2.4	エクシトンの観測	87
	a) 基礎吸収スペクトル (87)    b) スピン-軌道相互作用と交換相互作用 (92)    c) 並進運動の観測 (97)    d) エクシトン分子 (100)    e) エクシトンの分裂と融合 (102)	
第 3 章	Fermi 液体	107
§ 3.1	Fermi 液体のモデル	107
	a) Fermi 粒子系のハミルトニアン (107)    b) 電子ガス模型 (109)    c) 電子ガスの交換エネルギー (111)    d) $r_s$ 展開 (114)    e) 短距離力の働く体系 (115)	
§ 3.2	多粒子系への問いかけとその応答	120
	a) 外場があるときの Schrödinger 方程式 (120)    b) 線形応答 (122)    c) 遅延 Green 関数と温度 Green 関数 (124)    d) 大きなカノニカル分布の場合 (128)	
§ 3.3	電子ガス	128
	a) 外場としての試電荷 (129)    b) 誘電率 (131)    c) 相関エネルギー (133)    d) 動的構造因子 (136)	
§ 3.4	個別励起と集団励起	137
	a) 外場による密度のゆらぎ (137)    b) 遅延 Green 関数に対する第 0 近似 (138)    c) 個別励起と集団励起 (141)    d) プラズマ振動 (144)    e) ゼロ音波 (146)	

§ 3.5	Fermi 液体の性質	148
	a) 準粒子のエネルギー (149)	
	b) 準粒子の寿命 (151)	
	c) Fermi 面の存在, 低温での比熱, 帯磁率 (152)	
	d) 液体 $^4\text{He}$ 中の $^3\text{He}$ 希薄溶液 (153)	
第 4 章	相転移と素励起	157
§ 4.1	相転移と対称性の破れ	157
§ 4.2	秩序パラメーター	159
§ 4.3	スピン波近似	162
	a) スピン欠陥 (164)	
	b) スピン波近似 (164)	
	c) マグノンの凝縮 (166)	
§ 4.4	巨視系の Hilbert 空間	168
	a) Hilbert 空間 (168)	
	b) エルゴード定理 (170)	
	c) 対称性の破れ (171)	
§ 4.5	対称性の破れと素励起	172
	a) 強磁性体の場合 (172)	
	b) 古典結晶の場合 (173)	
	c) 反強磁性体の場合 (174)	
	d) Goldstone の定理 (178)	
§ 4.6	量子凝縮とコヒーレント状態	178
	a) コヒーレント表示 (179)	
	b) 超流体 (180)	
	c) 物質波のコヒーレンスと超流動 (183)	
§ 4.7	平均場近似	186
	a) 強磁性金属の Stoner モデル (187)	
	b) 超流体の Bogoljubov モデルと BCS モデル (189)	
	c) Mott 転移 (195)	
§ 4.8	ゆらぎの問題	200
	a) Bose 不完全気体の平均場近似 (201)	
	b) 第 2 近似 (203)	
§ 4.9	Fermi 液体とスピンのゆらぎ	205
	a) パラマグノンと Fermi 液体論 (205)	
	b) 金属中の局在モーメント (207)	

## 第 II 部 素励起の相互作用

第 5 章	線形相互作用と連成波	215
§ 5.1	線形相互作用	215
§ 5.2	光学型格子振動とキャリア・プラズマの相互作用	218

§ 5.3	金属中の電子プラズマとイオンの振動	220
§ 5.4	ポラリトン	222
	a) ポラリトンと誘電分散 (222)    b) 空間分散と光学的素過程 (228)	
第 6 章	くりこみとダンピング	233
§ 6.1	イオン結晶中の電子-フォノン相互作用	233
	a) 電子が存在するときの光学型格子振動 (233)    b) 電子-フォノン相互作用 (237)	
§ 6.2	ポーラロン	239
	a) 質量のくりこみ (2 次の摂動計算) (239)    b) フォノンの雲 (241)    c) ダンピング (242)    d) $\alpha$ の数値 (243)	
§ 6.3	中間結合法, 経路積分の方法	244
	a) 中間結合法 (244)    b) 経路積分 (248)    c) フォノン変数の消去 (250)    d) Feynman の変分原理 (254)    e) ポーラロンへの応用 (255)	
§ 6.4	金属の電子-フォノン相互作用	261
	a) ハミルトニアン (261)    b) 電子の自己エネルギー (262)	
§ 6.5	温度 Green 関数とスペクトル関数	265
§ 6.6	摂動展開と部分和	270
	a) 図形と演算規則 (270)    b) 自己エネルギー (272)	
§ 6.7	Migdal 近似と電子の自己エネルギー	275
	a) Migdal 近似 (275)    b) 1 電子スペクトル関数 (277)	
	c) Dyson 方程式の解 (280)    d) 準粒子像の適用限界 (282)	
§ 6.8	電子-フォノン相互作用と超伝導	283
	a) バーテックス関数の発散 (283)    b) 南部表示 (285)	
第 7 章	素励起の相互作用とスペクトル形状論	289
§ 7.1	非線形相互作用の働き	289
§ 7.2	フォノン場における局在電子の光吸収・放出スペクトル	294
	a) 局在電子のさまざま (295)    b) スペクトルの母関数と能率 (296)    c) 簡単なモデルによる母関数の計算 (298)	
	d) フォノン・サイドバンドとゼロ・フォノン線 (302)	

	e) 強結合と配位座標モデル(303)	f) 相互作用強度のモデル計算と実験との比較(305)	g) 断熱ポテンシャルの曲率差の効果(310)
§ 7.3	エクシトン-フォノン相互作用と基礎吸収スペクトル . . . . . 312		
	a) エクシトン-フォノン系のハミルトニアンと基礎吸収スペクトルの母関数(312)	b) エクシトンの並進運動によるスペクトルの尖鋭化(315)	c) 間接遷移と直接遷移, その干渉効果(320)
	d) くりこみ理論(324)	e) スペクトルのフォノン構造(329)	
§ 7.4	終状態相互作用 . . . . . 333		
	a) エクシトン-フォノン複合体(334)	b) 金属の軟 X 線スペクトルの Fermi 端異常(339)	c) 低エネルギー素励起の同時励起と終状態相互作用(344)
§ 7.5	自縄自縛状態 . . . . . 347		
	a) ポーラロン状態と自縄自縛状態(347)	b) 自由励起子と自縄自縛励起子(353)	c) 液体ヘリウム中の電子泡と励起子泡(355)
	今後の問題 . . . . . 357		
	文献・参考書 . . . . . 361		