

# Indice

<b>1</b>	<b>Equazione di Schrödinger</b>	<b>1</b>
1.1	Dal campo classico di Schrödinger alla meccanica quantistica di una particella . . .	1
1.2	Primi elementi di assiomatica della meccanica quantistica . . . . .	9
1.3	Dinamica dei valori medi e teorema di Ehrenfest . . . . .	11
1.4	Relazioni di incertezza di Heisenberg . . . . .	12
1.5	Stati gaussiani o a minima incertezza . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Prime applicazioni della meccanica quantistica</b>	<b>17</b>
2.1	La particella libera . . . . .	17
2.2	Ambientazione matematica dell'equazione di Schrödinger . . . . .	21
2.3	Soluzione generale dell'equazione di Schrödinger . . . . .	24
2.3.1	Autofunzioni proprie di $\hat{H}$ . . . . .	24
2.3.2	Costanti del moto . . . . .	28
2.3.3	Operatore parità . . . . .	29
2.4	Oscillatore armonico . . . . .	29
2.4.1	Caso unidimensionale . . . . .	30
2.4.2	Polinomi di Hermite . . . . .	32
2.4.3	Funzione generatrice . . . . .	33
2.4.4	Autofunzioni . . . . .	34
2.4.5	Caso tridimensionale . . . . .	35
2.4.6	Dinamica . . . . .	36
2.5	Buche di potenziale in una dimensione . . . . .	37
2.5.1	Buca di potenziale rettangolare: stati legati . . . . .	38
2.5.2	Particella confinata . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Particella in un potenziale a simmetria sferica</b>	<b>49</b>
3.1	Momento angolare orbitale . . . . .	49
3.2	Cenno alle equazioni differenziali con singolarità Fuchsiana e comportamento di $y(r)$ nell'origine . . . . .	55
3.3	Equazione radiale per il caso Coulombiano: atomi idrogenoidi . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Formalismo delle autofunzioni improprie</b>	<b>63</b>
4.1	Riconsiderazione dello sviluppo in integrale di Fourier . . . . .	63
4.2	Relazioni di ortogonalità e normalizzazione per le autofunzioni improprie . . . . .	67
4.3	Ambientazione delle autofunzioni in $S'(\mathbb{R}^3)$ . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Cenni di teoria dell'urto</b>	<b>77</b>
5.1	Generalità . . . . .	77
5.2	Soluzioni equazione radiale per $W > 0$ . . . . .	78
5.3	Caso della particella libera . . . . .	79
5.4	Relazione tra $u_p^{(0)}(\vec{x})$ e $u_{plm}^{(0)}(\vec{x})$ . . . . .	82
5.5	Autofunzioni improprie $u_p^{(+)}$ di $\hat{H}$ . . . . .	83

5.6	Calcolo della sezione d'urto . . . . .	86
<b>6</b>	<b>Teoria delle perturbazioni</b>	<b>91</b>
6.1	Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo . . . . .	91
6.2	Regola d'oro di Fermi . . . . .	93
6.2.1	Sezione d'urto elastica per particella interagente con centro di forze fisso . . . . .	95
6.3	Descrizione semiclassica dell'interazione radiazione-materia . . . . .	98
6.3.1	Coefficienti di assorbimento ed emissione stimolata . . . . .	98
6.3.2	Argomento di Einstein per l'introduzione del coefficiente di emissione spontanea . . . . .	103
6.3.3	Regole di selezione per atomi ad un elettrone . . . . .	105
6.4	Teoria delle perturbazioni stazionarie indipendenti dal tempo . . . . .	107
6.4.1	Effetto Stark per l'atomo di idrogeno . . . . .	113
6.4.2	Interazione tipo van der Waals . . . . .	116
<b>7</b>	<b>Formulazione generale della meccanica quantistica</b>	<b>119</b>
7.1	Grandezze fisiche in meccanica quantistica: formulazione assiomatica . . . . .	119
7.1.1	Grandezze fisiche come misure a valori di proiettore . . . . .	119
7.1.2	Grandezze fisiche come operatori autoaggiunti . . . . .	123
7.2	Sistema di una particella . . . . .	126
7.2.1	Formalismo degli operatori di creazione e distruzione . . . . .	127
7.3	Notazione di Dirac e diverse rappresentazioni . . . . .	130
7.3.1	Rappresentazione degli operatori fondamentali . . . . .	132
7.4	Stati coerenti . . . . .	135
7.5	Introduzione dello spin . . . . .	138
7.5.1	Variabile di spin e funzioni di spin . . . . .	142
7.5.2	Spin $\frac{1}{2}$ : operatori e relativi autovettori . . . . .	143
7.5.3	Misura a valori di proiettore per $\hat{S}_x$ , $\hat{S}_y$ e $\hat{S}_z$ . . . . .	144
7.5.4	Misura a valori di proiettore per $\hat{S}_{\vec{n}}$ . . . . .	146
7.6	Sistemi di più particelle . . . . .	148
7.6.1	Operatori di scambio . . . . .	150
7.6.2	Atomi a più elettroni . . . . .	151
<b>8</b>	<b>Il momento magnetico dell'elettrone</b>	<b>157</b>
8.1	Motivazioni fenomenologiche per l'introduzione del momento magnetico dell'elettrone	157
8.2	Cenni al campo classico di Dirac . . . . .	159
8.3	Limite non relativistico del campo di Dirac . . . . .	163
8.4	Hamiltoniano di Pauli e introduzione del momento magnetico intrinseco . . . . .	165
8.4.1	Equazioni di Ehrenfest per particella di spin $s$ in campo elettromagnetico . . . . .	167
8.4.2	Campo magnetico disomogeneo: esperimento di Stern e Gerlach . . . . .	168
8.4.3	Campo magnetico uniforme: effetto Zeeman normale . . . . .	169
8.5	Correzioni relativistiche per un elettrone . . . . .	170
<b>9</b>	<b>Ulteriori applicazioni della meccanica quantistica</b>	<b>175</b>
9.1	Composizione dei momenti angolari e coefficienti di Clebsch-Gordan . . . . .	175
9.1.1	Composizione di due spin $j_1 = \frac{1}{2}$ e $j_2 = \frac{1}{2}$ . . . . .	177
9.1.2	Trattazione generale: composizione di due spin $j_1$ e $j_2$ . . . . .	179
9.1.3	Composizione di due spin $j_1 = \frac{1}{2}$ e $j_2 = l$ . . . . .	181
9.1.4	Struttura della parte angolare e di spin delle autofunzioni . . . . .	183
9.1.5	Stati di singoletto e tripletto . . . . .	184
9.2	Struttura fine per sistemi a un elettrone . . . . .	185
9.2.1	Campo magnetico uniforme: effetto Zeeman . . . . .	187
9.2.2	Calcolo della struttura fine dei sistemi idrogenoidi . . . . .	188
9.3	Atomo di elio: struttura generale delle autofunzioni . . . . .	190

9.3.1	Stato fondamentale e stati eccitati . . . . .	192
9.3.2	Calcolo perturbativo dell'energia dello stato fondamentale . . . . .	194
9.3.3	Calcolo dell'energia dello stato fondamentale tramite principio variazionale	195
9.4	Sistema dei due corpi in meccanica quantistica . . . . .	197
9.4.1	Trattazione classica . . . . .	197
9.4.2	Trattazione quantistica . . . . .	198
<b>10</b>	<b>Teoria quantistica del campo di Schrödinger</b>	<b>203</b>
10.1	Seconda quantizzazione . . . . .	203
10.1.1	Spazio di Fock . . . . .	204
10.1.2	Operatori di campo . . . . .	204
10.1.3	Operatore numero . . . . .	206
10.1.4	Interazione a più corpi . . . . .	209
	<b>Indice analitico</b>	<b>213</b>
	<b>Elenco dei simboli</b>	<b>213</b>
	<b>Indice</b>	<b>217</b>