



TÉCNICO LISBOA

Física de Partículas

(Versão de 2013-2014)

Jorge Crispim Romão

**Departamento de Física
2013**

Conteúdo

1	Breve Revisão de Mecânica Quântica	1
1.1	Princípios básicos da mecânica quântica	1
1.2	A equação de Schrödinger	3
1.3	O átomo de hidrogénio	4
1.3.1	A equação de Schrödinger para o átomo de hidrogénio	4
1.3.2	Significado físico dos resultados	6
1.3.3	As funções de onda atómicas	7
1.3.4	Propriedades das funções de onda atómicas	8
1.3.5	O spin	10
1.3.6	Adição de momentos angulares	11
1.3.7	Estrutura fina	12
1.3.8	Desdobramento de Lamb	13
1.3.9	Desdobramento hiperfino	14
	Problemas Capítulo 1	15
2	Mecânica Quântica Relativista: Colisões e Decaimentos	17
2.1	Introdução	17
2.2	A regra de ouro para os decaimentos	17
2.2.1	Dimensões de Γ e de \mathcal{M}	19
2.2.2	Decaimentos para duas partículas	19
2.3	A regra de ouro para as secções eficazes	20
2.3.1	Colisões $1 + 2 \rightarrow 3 + 4$ no CM	21
2.4	Regras de Feynman para um modelo sem spin	22
2.4.1	Tempo de vida média de A	24
2.4.2	Colisão $A + A \rightarrow B + B$	25
2.4.3	Processos de ordem superior	26
	Problemas Capítulo 2	28
3	Grupos e Simetrias	31
3.1	Simetrias, grupos e leis de conservação	31
3.2	Momento angular	34
3.3	Spin $1/2$	35
3.3.1	Rotação de spinores	37

3.4	Adição de momentos angulares	37
3.5	Simetrias internas	38
3.6	Simetrias discretas	39
3.6.1	Paridade	39
3.6.2	Conjugação de carga	41
3.6.3	Violação de CP	42
3.6.4	Inversão no tempo e o teorema TCP	42
	Problemas Capítulo 3	43
4	Equações de Klein-Gordon e Dirac	45
4.1	A equação de Klein-Gordon.	45
4.2	A equação de Dirac	47
	Complemento 4.1 Tensores simétricos e anti-simétricos . . .	48
4.3	Soluções para a partícula livre	51
4.3.1	Sistema de unidades $\hbar = c = 1$	51
4.3.2	Soluções da equação de Dirac no referencial próprio	52
4.3.3	Soluções da equação de Dirac para $\vec{p} \neq 0$	53
4.4	Covariância da equação de Dirac	56
4.4.1	Transformações de spinores	56
4.4.2	Adjunto de Dirac	57
4.4.3	Covariantes bilineares	58
4.5	Interpretação das soluções de energia negativa	59
4.6	Conjugação de carga	61
	Problemas Capítulo 4	63
5	Teoria Quântica dos Campos e Diagramas de Feynman	69
5.1	O fóton	69
5.2	A eletrodinâmica quântica (QED)	71
5.3	Regras de Feynman para QED	72
5.4	Exemplos	74
5.4.1	Colisão elástica elétron-muão	74
5.4.2	Colisão elástica elétron-positrão	75
5.4.3	Efeito de Compton	75
5.5	O truque de Casimir	76
5.5.1	Teoremas de traços de matrizes γ	77
5.5.2	Difusão Bhabha	79
5.5.3	Efeito de Compton	80
5.6	Produção de hádrões em colisões $e^- + e^+$	81
5.6.1	Hadronização	81
5.6.2	Processo elementar	82
5.6.3	A razão R	84
	Problemas Capítulo 5	86

6	As Interações Fracas: do Modelo de Fermi à Teoria V-A	89
6.1	A teoria de Fermi	89
6.2	A teoria V-A	91
6.2.1	Introdução	91
6.2.2	Violação de paridade nas interações fracas	91
6.2.3	Neutrinos esquerdos e a corrente leptónica	92
6.2.4	A interação corrente-corrente de Feynman e Gell-Mann	94
6.3	As interações fracas dos hadrões	96
6.3.1	Universalidade e a teoria de Cabibbo	96
6.3.2	O mecanismo de GIM e a descoberta do charm	99
6.4	A hipótese do bóson vetorial intermédio	101
6.5	Problemas com a teoria corrente-corrente	103
6.5.1	Violação da unitariedade na interação de Fermi	103
6.5.2	Violação de unitariedade no modelo IVB	104
	Problemas Capítulo 6	107
7	Invariância de Gauge	109
7.1	Lagrangeanos em mecânica clássica	109
7.2	Lagrangeanos em teoria de campo	110
7.3	Invariância de gauge. O eletromagnetismo	112
7.4	Teorias de Yang-Mills	115
7.5	Regras de Feynman para a teoria de gauge	119
7.5.1	Propagadores	119
7.5.2	Vértices	119
	Problemas Capítulo 7	121
8	Quebra Espontânea de Simetria: Mecanismo de Higgs	125
8.1	Introdução	125
8.2	O teorema de Goldstone	132
8.3	O mecanismo de Higgs	136
	Problemas Capítulo 8	143
9	O Modelo Standard Eletrofraco: $SU(2)_L \times U_Y(1)$	145
9.1	Introdução	145
9.2	O sector de gauge	146
9.3	As interações fracas dos leptões	148
9.3.1	As representações e números quânticos	149
9.3.2	As correntes carregadas	151
9.3.3	As correntes neutras	153
9.4	A introdução dos quarks	154
9.5	A massa dos Leptões	156
9.6	Exemplos	158
9.6.1	Decaimento $Z \rightarrow f\bar{f}$	158

9.6.2 Colisão $e^- \bar{\nu}_e \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$	160
Problemas Capítulo 9	163
10 Violação de CP e a Matriz Cabibbo-Kobayashi-Maskawa	167
10.1 A massa dos quarks	167
10.2 Violação de CP no sistema $K^0 - \bar{K}^0$	170
10.2.1 A simetria CP	170
10.2.2 Violação de CP	172
10.3 Violação de CP e a matriz CKM	174
10.3.1 A matriz CKM	174
10.3.2 Contagem de parâmetros na matriz CKM	176
10.3.3 Parametrizações da matriz CKM	176
10.3.4 Confrontado a experiência com a matriz CKM	177
Problemas Capítulo 10	179