

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	21
--------------	----

PARTE I ESTRUCTURA NUCLEAR

Tema 1. EL NÚCLEO ATÓMICO. PROPIEDADES FÍSICAS	27
Objetivos didácticos específicos	28
1.1. Introducción: El núcleo atómico	29
1.1.1. Experimentos históricos	31
1.2. Tamaño y distribución de carga nuclear. Medida del radio de los núcleos	33
1.2.1. Medida del radio de carga de los núcleos.	35
1.2.2. Distribución de materia (masa) nuclear.	40
1.3. Masa y abundancia de núclidos	41
1.3.1. Unidad de masa atómica	42
1.3.2. Medida de masas de núcleos	42
1.3.3. Abundancia de núcleos.	49
1.3.4. Energía de ligadura	50
1.3.5. El valle de la estabilidad.	53
1.3.6. Energía de separación nucleónica	54
1.3.7. Fórmula semiempírica de la masa	55
1.4. Estabilidad nuclear. Parábola de masas	58

1.5. Espín, paridad y momentos electromagnéticos nucleares	62
1.5.1. Espín y Paridad nucleares.	62
1.5.2. Espín isotópico del núcleo.	63
1.5.3. Momentos electromagnéticos nucleares	64
1.6. Estructura de niveles energéticos nucleares	68
Glosario de términos clave	71
Resumen	73
Ejercicios de autocomprobación	75
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	76
 Tema 2. LA FUERZA NUCLEAR: EL DEUTERÓN. INTERACCIÓN $N - N$	79
Objetivos didácticos específicos.	80
2.1. Introducción	81
2.2. El deuterón: Propiedades y función de ondas.	82
2.2.1. Momento dipolar magnético del deuterón	84
2.2.2. Momento cuadrupolar eléctrico del deuterón	86
2.2.3. Función de ondas radial del deuterón	89
2.3. Difusión $N - N$. Defasajes	92
2.3.1. Desarrollo en ondas parciales	92
2.3.2. Relación entre defasaje y potencial V	93
2.3.3. Aproximación de alcance efectivo.	94
2.4. Potencial de Yukawa	96
2.5. Potencial $N - N$	100
2.5.1. Potencial OPEP	102
Glosario de términos clave	104
Resumen	105

Ejercicios de autocomprobación	107
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	108
 Tema 3. MODELOS NUCLEARES	111
Objetivos didácticos específicos.	112
3.1. Introducción	113
3.2. Modelos de partícula individual.	115
3.2.1. Propiedades de los núcleos con A impar	115
3.2.2. Modelo de capas	115
3.2.3. Modelo de capas esférico	117
3.3. Modelos colectivos	131
3.3.1. Modelo del gas de Fermi.	131
3.3.2. Modelo de la gota líquida	134
3.3.3. Propiedades colectivas de los núcleos par-par	134
3.3.4. Modelo vibracional	136
3.3.5. Modelo rotacional	138
3.4. Modelo unificado	144
3.4.1. Modelo de capas en núcleos deformados	144
Glosario de términos clave	147
Resumen	148
Ejercicios de autocomprobación	150
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	151

PARTE II DESINTEGRACIONES NUCLEARES Y RADIATIVIDAD

Tema 4. RADIATIVIDAD Y DESINTEGRACIÓN NUCLEAR	155
Objetivos didácticos específicos	156
4.1. Introducción	157
4.1.1. Generalidades	157
4.2. Ley de desintegración radiactiva	159
4.2.1. Periodos de semidesintegración parciales	161
4.3. Teoría cuántica de la desintegración radiactiva	163
4.4. Tipos de desintegraciones nucleares. Fuentes radiactivas más comunes	164
4.4.1. Desintegración alfa	166
4.4.2. Desintegración beta	166
4.4.3. Desintegración gamma	167
4.4.4. Fisión espontánea	168
4.4.5. Emisión de nucleones	168
4.5. Radiactividad natural. Series naturales de elementos radiactivos . . .	169
4.6. Cadenas radiactivas. Ecuaciones de Bateman	170
4.6.1. Aplicaciones del equilibrio radiactivo	172
4.7. Radiactividad artificial	174
4.8. Datación radiactiva	175
4.8.1. Datación por ^{14}C	176
4.8.2. Datación geológica	176
Glosario de términos clave	179
Resumen	180

Ejercicios de autocomprobación	181
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	182
 Tema 5. TEORÍA DE LA DESINTEGRACIÓN ALFA	187
Objetivos didácticos específicos.	188
5.1. Propiedades generales de la desintegración alfa	189
5.1.1. Balance energético.	190
5.1.2. Predicción de Q por la fórmula semiempírica.	191
5.1.3. Regla de Geiger-Nuttal	192
5.2. Modelo de Gamow de la desintegración alfa	194
5.2.1. Probabilidad de desintegración alfa	195
5.2.2. Emisión de otras partículas o núcleos	199
5.3. Espectroscopía alfa y estructura nuclear	200
5.4. Reglas de selección: Momento angular y Paridad	200
Glosario de términos clave	204
Resumen	205
Ejercicios de autocomprobación	206
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	207
 Tema 6. TEORÍA DE LAS DESINTEGRACIONES BETA	209
Objetivos didácticos específicos.	210
6.1. Introducción	211
6.1.1. Balance energético.	213
6.2. Teoría de Fermi de la desintegración beta	216
6.2.1. Probabilidad de transición	216
6.2.2. Densidad de estados finales.	217

6.3. Forma del espectro beta.	218
6.3.1. Predicción de la masa del neutrino.	219
6.4. Periodo comparativo y transiciones prohibidas.	222
6.4.1. Tipos de transiciones y reglas de selección en la desintegración beta nuclear	225
6.5. Experimento de Reines y Cowan	230
6.6. Violación de la Paridad en la desintegración beta.	232
6.7. Desintegración doble-beta	232
Glosario de términos clave	235
Resumen	236
Ejercicios de autocomprobación	237
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	238
 Tema 7. TEORÍA DE LA DESINTEGRACIÓN GAMMA	241
Objetivos didácticos específicos.	242
7.1. Introducción	243
7.1.1. Desarrollo multipolar.	245
7.2. Conservación de la energía en las desintegraciones gamma.	246
7.3. Vidas medias	247
7.3.1. Ordenes de magnitud de transiciones gamma multipolares.	248
7.3.2. Regla dorada de Fermi.	249
7.3.3. Estimadores de Weisskopf.	250
7.4. Reglas de selección	253
7.4.1. Conversión interna	256
7.5. Espectroscopia gamma.	258

7.6. Efecto Mössbauer	259
7.6.1. Emisión y absorción de gammas	259
7.6.2. Aplicaciones del efecto Mössbauer	264
Glosario de términos clave	266
Resumen	267
Ejercicios de autocomprobación	268
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	269

PARTE III REACCIONES NUCLEARES

Tema 8. REACCIONES NUCLEARES	275
Objetivos didácticos específicos	276
8.1. Introducción	277
8.2. Leyes de conservación	278
8.2.1. Conservación de la energía-momento	278
8.2.2. Otras leyes de conservación.	282
8.3. Secciones eficaces de reacción	283
8.4. Tipos de reacciones	286
8.4.1. Difusión y absorción nuclear	287
8.4.2. Reacciones de núcleo compuesto	289
8.4.3. Reacciones directas	290
8.5. Modelo óptico	293
8.6. Fisión y Fusión nuclear	295
8.6.1. Fisión Nuclear	295
8.6.2. Fusión Nuclear	302
Glosario de términos clave	310

Resumen	311
Ejercicios de autocomprobación	313
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	314

PARTE IV INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA

Tema 9. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA	321
Objetivos didácticos específicos.	322
9.1. Introducción	323
9.2. Interacción de partículas cargadas	325
9.2.1. Pérdida de energía por ionización. Fórmula de Bethe-Bloch	325
9.2.2. Consecuencias de la fórmula de Bethe-Bloch	330
9.2.3. Difusión múltiple o coulombiana. Fórmula de Rutherford	333
9.3. Interacción de electrones y positrones con la materia	335
9.3.1. Pérdida de energía por colisión	335
9.3.2. Radiación de frenado	335
9.3.3. Aniquilación de positrones	340
9.3.4. Retrodifusión. Albedo	341
9.4. Interacción de fotones con la materia. Fenómenos de Radiación	341
9.4.1. Efecto fotoeléctrico	342
9.4.2. Efecto Compton	342
9.4.3. Creación de pares	345
9.4.4. Atenuación de fotones	346
9.5. Efecto Cerenkov	348
Glosario de términos clave	349

Resumen	351
Ejercicios de autocomprobación	352
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	353
 Tema 10. DETECTORES DE RADIACIONES NUCLEARES	 357
Objetivos didácticos específicos.	358
10.1. Introducción.	359
10.1.1. Clasificación de los detectores	359
10.2. Magnitudes características de los detectores.	360
10.2.1. Sensibilidad	361
10.2.2. Respuesta.	361
10.2.3. Resolución energética	364
10.2.4. Eficiencia	365
10.2.5. Tiempo muerto	368
10.3. Detectores gaseosos.	370
10.4. Detectores de centelleo.	373
10.4.1. Características generales.	374
10.4.2. Tipos de materiales centelleadores	375
10.4.3. Respuesta luminosa	376
10.4.4. Eficiencia en el transporte de luz	377
10.4.5. Fotomultiplicadores (PM)	378
10.5. Detectores de estado sólido	380
10.5.1. Semiconductores	380
10.5.2. La unión $p - n$ como detector	381
10.5.3. Potencial de polarización	382
10.5.4. Particularidades	382

10.6. Detección de partículas neutras	383
10.6.1. Detección de Neutrones por Interacción Fuerte.	384
Glosario de términos clave	385
Resumen	386
Ejercicios de autocomprobación	388
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	389
 Tema 11. INTRODUCCIÓN A LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	 391
Objetivos didácticos específicos	392
11.1. Introducción.	393
11.1.1. Bases biológicas.	393
11.2. Unidades	395
11.2.1. Actividad ($\mathcal{A}$)	395
11.2.2. Exposición X	396
11.2.3. Dosis absorbida, D.	398
11.2.4. El kerma, K	399
11.2.5. Dosis equivalente, H.	399
11.2.6. Tasa de dosis	400
11.2.7. Dosis equivalente efectiva	402
11.3. Sistema de limitación de dosis	403
11.3.1. Justificación	403
11.3.2. Optimización	403
11.3.3. Limitación de dosis individual	404
11.4. Medidas de protección	407
11.4.1. Blindajes	407

11.5. Ejemplos de dosis	409
11.5.1. Radiactividad natural nociva. El radón	410
Glosario de términos clave	412
Resumen	413
Ejercicios de autocomprobación	414
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación	415

PARTE V PARTÍCULAS ELEMENTALES

Tema 12. PROPIEDADES GENERALES DE LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES	419
12.1. Introducción	421
12.2. El Descubrimiento de las partículas	423
12.2.1. Las tres primeras partículas (antes del neutrón)	423
12.2.2. Del neutrón al pión	427
12.2.3. La era de los quarks. Nuevas generaciones de partículas.	428
12.2.4. Descubrimientos más recientes.	429
12.3. Clasificación de las Partículas	430
12.3.1. Partículas y antipartículas.	431
12.3.2. Fermiones y Bosones	433
12.4. Los diagramas de Feynman	436
12.5. Las cuatro interacciones fundamentales.	438
12.5.1. Interacción electromagnética (QED)	442
12.5.2. Interacción débil	444
12.5.3. Interacción fuerte (teoría QCD)	447

12.6. Simetrías. Leyes de conservación	448
12.6.1. Clasificación de las simetrías	450
12.6.2. Invariancia relativista	451
12.6.3. Ejemplos de simetrías discretas	452
Glosario de términos clave	457
Resumen	459
Ejercicios de autocomprobación	461
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación	462
 Tema 13. LEPTONES	 465
13.1. Las tres familias de leptones	467
13.1.1. Evidencia de la conservación del número leptónico	469
13.2. Neutrinos	471
13.2.1. Observación del neutrino electrónico y del antineutrino electrónico	471
13.2.2. Evidencia de la naturaleza diferente de los neutrinos de las tres familias de leptones	472
13.2.3. Helicidad del neutrino	473
13.2.4. Masa del neutrino	473
13.3. Muones	474
13.3.1. Desintegración de los muones	475
13.4. Interacción débil	476
13.4.1. Clasificación de las interacciones débiles	476
13.5. Los bosones intermedarios	477
13.5.1. Masa y desintegraciones de los bosones intermedarios	478
Glosario de términos clave	481

Resumen	482
Ejercicios de autocomprobación	483
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	484
 Tema 14. HADRONES	487
14.1. Introducción	489
14.2. El modelo de quarks de los hadrones	489
14.2.1. Composición y tipos de hadrones	489
14.2.2. Números cuánticos de los hadrones.	492
14.3. Mesones. El estudio del pión	494
14.3.1. Multipletes de mesones.	494
14.3.2. Propiedades del pión	496
14.3.3. Modos de desintegración de los mesones	498
14.4. Bariones. Estructura quark de los nucleones	500
14.4.1. Masa de los bariones	500
14.4.2. Producción y detección de los bariones	501
14.4.3. Momentos magnéticos	502
14.5. El descubrimiento del último quark (el quark t).	503
14.6. Partículas extrañas. Propiedades	504
14.6.1. Propiedades de las partículas extrañas	505
Glosario de términos clave	509
Resumen	510
Ejercicios de autocomprobación	511
Soluciones a los ejercicios de autocomprobación.	512
 UNIDADES Y CONSTANTES	515