

SCIENCES SUP

Cours et exercices corrigés

Licence 3 • Master



PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Des quarks aux applications

*Claude Le Sech
Christian Ngô*

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	XII
CHAPITRE 1 • INTERACTIONS FONDAMENTALES ET SYMÉTRIES	1
1.1 Quatre interactions	1
1.2 Quarks et leptons	1
1.2.1 Les leptons	2
1.2.2 Les quarks	2
1.2.3 Bosons vecteurs	4
1.3 La gravitation	7
1.4 L'interaction électromagnétique	8
1.5 L'interaction forte	8
1.6 L'interaction faible	9
1.7 Symétries et lois de conservation	9
1.7.1 Uniformité et isotropie de l'espace, uniformité du temps	9
1.7.2 Symétries discrètes	10
1.8 Le boson de Higgs	14
Exercices	14
Solutions des exercices	15
CHAPITRE 2 • NOYAUX	17
2.1 Numéro atomique et nombre de masse	17
2.2 Isotopes, isobares, isotones	19
2.3 Énergie de liaison	20
2.4 Masses atomiques	21
2.5 Énergie de séparation	23
2.6 Nombres magiques	23

Table des matières

2.7	Isospin	25
2.8	Densité nucléaire	25
2.9	Le modèle de la goutte liquide	27
2.10	Vallée de stabilité	29
2.11	Approche locale des masses	30
	Exercices	30
	Solutions des exercices	31
 CHAPITRE 3 • MODÈLES DE STRUCTURE NUCLÉAIRE		33
3.1	Modèles de champ moyen	33
3.1.1	L'atome	34
3.1.2	Le modèle en couches	37
3.2	Gaz parfait de Fermi	42
3.3	Approches collectives	45
3.3.1	Le modèle de la goutte liquide	45
3.3.2	Modèle collectif	46
3.3.3	Noyaux déformés	46
3.4	Résonances géantes	48
	Exercices	49
	Solutions des exercices	50
 CHAPITRE 4 • LA RADIOACTIVITÉ		52
4.1	Cinétique de la désintégration	52
4.2	Filiation	54
4.3	Branchement	55
4.4	Désintégration alpha	56
4.4.1	Bilan énergétique	57
4.4.2	Mécanisme	57
4.5	Radioactivité bêta	60
4.5.1	Radioactivité β^-	61
4.5.2	Radioactivité β^+	63

Table des matières

25	4.5.3 Capture électronique	64
25	4.6 Familles radioactives	65
27	4.7 Émission γ	68
29	4.8 Fission	70
30	Exercices	73
30	Solutions des exercices	74
31		
	CHAPITRE 5 • RÉACTIONS NUCLÉAIRES	76
33	5.1 Énergie dans le centre de masse	77
33	5.2 Section efficace	79
34	5.3 Paramètre d'impact	81
37	5.4 Ondes partielles	82
42	5.5 Le système du laboratoire	83
45	5.6 Diffusion élastique	85
45	5.7 Cinématique relativiste	85
46	5.8 Réactions directes	89
48	5.9 Résonance	91
49	5.10 Fusion et noyau composé	92
50	5.11 Réactions très inélastiques	95
	5.12 Collisions d'ions lourds à basse énergie	96
52	5.13 Prééquilibre	97
52	5.14 Spallation, fireball	98
54	5.15 Plasma quarks-gluons	99
55	Exercices	100
56	Solutions des exercices	101
57		
57	CHAPITRE 6 • INTERACTION DES PARTICULES IONISANTES AVEC LA MATIÈRE	103
60	6.1 Interaction des rayons-X et γ avec la matière	103
61	6.1.1 Effet photoélectrique	105
63	6.1.2 Effet Compton	108

Table des matières

6.1.3	Matérialisation et création de paire électron-positron	110
6.1.4	Réactions photonucléaires	111
6.1.5	Atténuation des rayons-X et γ par la matière	111
6.2	Interaction des particules chargées avec la matière	113
6.2.1	Diffusion par un potentiel central	114
6.2.2	Interaction avec les électrons	115
6.2.3	Interaction avec les noyaux atomiques	118
6.2.4	Perte d'énergie dans des molécules	119
6.2.5	Transfert d'énergie linéique (TEL)	119
6.2.6	Rayonnement de freinage	120
6.2.7	Parcours de la particule dans le milieu traversé	123
6.2.8	Collision inélastique électron-électron	124
	Exercices	126
	Solutions des exercices	127
	CHAPITRE 7 • DOSIMÉTRIE	129
7.1	Caractérisation d'un faisceau de particules ionisantes	129
7.2	Énergie transférée en un point du milieu par le rayonnement	131
7.2.1	Définition de la dose	131
7.2.2	Définition de l'exposition	132
7.2.3	Définition du KERMA	133
7.3	Dosimétrie absolue	133
7.3.1	La calorimétrie	133
7.3.2	La chambre à ionisation	134
7.3.3	Dosimétrie chimique : le dosimètre de Fricke	136
7.4	Quelques principes de radioprotection	137
7.4.1	Notion d'équivalent de dose pour un organisme	137
7.4.2	Protection contre les rayonnements ionisants	140
	Exercices	142
	Solutions des exercices	144
	CHAPITRE 8 • EFFETS DES RAYONNEMENTS EN BIOLOGIE	146
8.1	Unités pour les rayonnements ionisants	146

8.2	La cellule e
8.3	Radiolyse d
8.3.1	Radi
8.3.2	Radi
8.4	Dénombre
8.5	Effets du ra
8.6	Radiosensi
8.7	Les courbe
8.8	Paramètres
8.8.1	Influ
8.8.2	Rôle
8.9	Radiosensi
8.10	Effet à co
8.11	Effets som
8.12	Modificati
	rayonnem
8.13	Dompage
8.14	Effets sur l
	Exercices
	Solutions des exe
	CHAPITRE 9 • APP
9.1	Imagerie p
9.1.1	Gén
9.1.2	Prim
9.1.3	Rec
9.2	Utilisation
9.2.1	Tras
9.2.2	Ima
9.2.3	Thé
	Exercices

IX

Table des matières

Solutions des exercices	193
CHAPITRE 10 • RÉACTEURS NUCLÉAIRES	194
10.1 La fission, source d'énergie	194
10.2 Oklo et les réacteurs naturels	197
10.3 Noyaux fissiles, noyaux fertiles	197
10.4 Produits de fission et neutrons	198
10.5 Réacteurs à neutrons lents, réacteurs à neutrons rapides	199
10.5.1 L'eau lourde	199
10.5.2 Les réacteurs à neutrons rapides	200
10.6 Masse critique	201
10.7 Interaction des neutrons	202
10.8 Principe d'un réacteur nucléaire	202
10.9 Modération	203
10.10 Neutrons retardés	205
10.11 Contrôle de la puissance	205
10.11.1 Barres de contrôle	205
10.11.2 Poisons neutroniques	206
10.11.3 Effet Doppler	206
10.11.4 Coefficient de vide	206
10.11.5 L'effet xénon	206
10.11.6 Puissance résiduelle	207
10.12 Enrichissement	207
10.13 Déchets nucléaires	208
10.14 Fusion thermonucléaire	210
10.15 Armes nucléaires	212
10.15.1 Bombe A	212
10.15.2 Bombe H	213
10.15.3 Autres armes nucléaires	213
Exercices	214
Solutions des exercices	215

193	CHAPITRE 11 • ACCÉLÉRATEURS, DÉTECTEURS ET APPLICATIONS NON MÉDICALES.....	216
194	11.1 Accélérateurs de particules.....	217
194	11.1.1 Accélérateurs à courant continu.....	218
197	11.1.2 Accélérateurs à tension alternative.....	218
197	11.1.3 Collisionneurs.....	222
198	11.1.4 Faisceaux secondaires.....	222
199	11.2 Détection de particules.....	223
199	11.2.1 Détecteurs à gaz.....	224
200	11.2.2 Détecteurs à scintillation.....	227
201	11.2.3 Détecteurs semiconducteurs.....	228
201	11.2.4 Autres détecteurs.....	228
202	11.3 Applications industrielles.....	229
202	11.3.1 Traceurs.....	229
203	11.3.2 Production de radio-isotopes.....	230
205	11.3.3 Radiographies nucléaires.....	230
205	11.3.4 Jauges radiométriques.....	231
205	11.3.5 Analyse par activation.....	232
206	11.3.6 Stérilisation.....	232
206	11.3.7 Ionisation des gaz.....	233
206	11.4 Datation.....	233
206	11.5 Sources d'énergie.....	235
207	Exercices.....	236
207	Solutions des exercices.....	237
208	BIBLIOGRAPHIE.....	239
210	CONSTANTES.....	243
212	INDEX.....	245

SCIENCES SUP

Claude Le Sech
Christian Ngô

PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Des quarks aux applications

Cet ouvrage s'adresse aux étudiants (L3, Masters), aux élèves ingénieurs et à tous ceux qui ont besoin d'acquérir des notions de physique nucléaire.

S'il est nécessaire de comprendre la structure du noyau des atomes, il est tout aussi important d'utiliser ses propriétés pour des applications.

Ce livre décrit de manière simple et synthétique les constituants de la matière et présente les applications, de la production d'énergie aux sciences du vivant en passant par des méthodes d'analyse et de caractérisation de la matière inerte..

Chacun des onze chapitres est complété par des exercices corrigés.



CLAUDE LE SÈCH
est médecin, professeur
à l'université Paris-sud,
Orsay

CHRISTIAN NGÔ
créateur d'Edmonium
Conseil a été directeur
scientifique auprès
du haut Commissaire
à l'énergie atomique

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE

6907737

CAMPUS PHYS NUCLE



9 782100 548620

LICENCE | MASTER | DOCTORAT

1 2 3 4 5 6 7 8



DUNOD

www.dunod.com