

**ABRÉGÉS**

# Physique nucléaire

D. BLANC

MASSON 

# Table des matières

Avant-propos .....	X
--------------------	---

## CHAPITRE 1

<b>Promenade autour du nucléaire .....</b>	<b>1</b>
1.1 — Les quatre interactions .....	1
1.1.1 — La gravitation .....	1
1.1.2 — L'interaction électro-magnétique .....	2
1.1.3 — L'interaction faible .....	2
1.1.4 — L'interaction forte .....	3
1.1.5 — Vers l'unification totale (?) .....	4
1.2 — Les ordres de grandeur en physique microscopique .....	5
1.2.1 — Les interactions .....	5
1.2.2 — Les distances .....	5
1.2.3 — Les temps .....	5
1.2.4 — Les énergies .....	5
1.3 — Exploration de la structure ultime de la matière .....	6
1.3.1 — Structure de l'atome (Fig. 1.1.a) .....	7
1.3.2 — Structure du noyau (Fig. 1.1.b) .....	8
1.3.3 — Structure du nucléon (Fig. 1.1.c) .....	8
1.4 — Bosons et fermions .....	8
1.4.1 — Les fermions : spin égal à un nombre impair de fois $\frac{1}{2}$ .....	8
1.4.2 — Les bosons : spin nul ou entier .....	9
1.5 — Les deux principes d'incertitude .....	9
1.5.1 — Le premier principe d'incertitude .....	9
1.5.2 — Le second principe d'incertitude .....	9
1.6 — Les particules élémentaires : première approche .....	10

## CHAPITRE 2

<b>Le noyau .....</b>	<b>13</b>
2.1 — Caractéristiques de base des noyaux .....	13
2.1.1 — Fiche signalétique du noyau .....	13
2.1.2 — Isotopes, isobares .....	14
2.1.3 — Le système des masses atomiques .....	14
2.1.4 — L'énergie de liaison nucléaire .....	14
2.1.5 — Les modes possibles de production d'énergie .....	15

2.2 — Le nucléon à l'état libre .....	16
2.2.1 — Moment magnétique dipolaire .....	16
2.2.2 — Moment électrique dipolaire possible du neutron .....	17
2.3 — Le modèle de la goutte liquide .....	18
2.3.1 — Hypothèses de base .....	18
2.3.2 — Calcul de l'énergie de liaison du noyau .....	19
2.3.3 — Détermination des coefficients de la formule (2.11) .....	22
2.3.4 — Modèles plus élaborés .....	22
2.3.5 — Insuffisance d'une représentation globale .....	23
2.4 — Le modèle des couches de nucléons .....	24
2.4.1 — Les nombres quantiques des nucléons .....	24
2.4.2 — Niveaux nucléaires excités à un seul nucléon .....	24

### CHAPITRE 3

<b>Les réactions nucléaires</b> .....	27
3.1 — Cinématique de la diffusion élastique .....	27
3.1.1 — Étude de la diffusion dans le système (L) (Fig. 3.1.a) .....	28
3.1.2 — Étude de la diffusion dans le système CM (Fig. 3.1.b) .....	29
3.2 — Section efficace d'une interaction .....	30
3.2.1 — Les projectiles peuvent être considérés comme ponctuels .....	33
3.2.2 — Généralisation : décomposition de l'onde en ondes partielles .....	34
3.3 — Cinématique des interactions inélastiques à deux corps, non relativistes .....	36
3.3.1 — Conservation de la charge électrique .....	37
3.3.2 — Conservation de la quantité de mouvement et du moment angulaire .....	37
3.3.3 — Conservation de l'énergie .....	37
3.3.4 — Seuil d'une réaction à deux corps endo-énergétique .....	37
3.4 — États nucléaires résonnants produits par l'interaction forte .....	38
3.5 — Interactions directes, dites de « stripage », de projectiles légers .....	40
3.6 — Interactions des projectiles lourds .....	41
3.6.1 — Accélérateurs de noyaux lourds .....	41
3.6.2 — Modélisation des phénomènes .....	41

### CHAPITRE 4

<b>Les particules, leurs interactions</b> .....	43
4.1 — Les particules relativistes .....	43
4.1.1 — Durée de vie d'une particule .....	44
4.1.2 — Parcours dans le vide .....	44
4.1.3 — Masse .....	44
4.1.4 — Énergie totale E .....	44
4.1.5 — Énergie cinétique T .....	45
4.1.6 — Quantité de mouvement p .....	45
4.1.7 — Au-dessus de quelle énergie une particule devient-elle relativiste ? .....	46
4.2 — Les collisionneurs .....	46
4.2.1 — Luminosité .....	48
4.2.2 — Rayonnement synchrotron .....	48
4.2.3 — Collisionneurs protons-antiprotons (Tableau 4.2) .....	49
4.2.4 — Collisionneurs négatons-positons (Tableau 4.2) .....	50

4.3 — Matière et antimatière .....	51
4.3.1 — L'antimatière .....	51
4.3.2 — Conséquences concernant le « big-bang » .....	53
4.4 — Classement des particules selon leurs masses .....	54
4.5 — Les quanta des interactions .....	56
4.5.1 — Le gluon .....	57
4.5.2 — Le photon .....	57
4.5.3 — Les bosons W et Z .....	57
4.5.4 — Le graviton .....	58
4.6 — La force de cohésion nucléaire .....	58
4.7 — L'unification des interactions .....	59
4.7.1 — La grande unification .....	59
4.7.2 — La super-symétrie .....	60

## CHAPITRE 5

<b>Radioactivité naturelle, radioactivité artificielle .....</b>	<b>63</b>
5.1 — Les principaux modes de désintégration radioactive .....	63
5.1.1 — Radioactivité produite par l'interaction forte .....	63
5.1.2 — Radioactivité produite par l'interaction électromagnétique ....	64
5.1.3 — Radioactivité produite par l'interaction faible .....	64
5.2 — Loi de l'émission radioactive .....	65
5.2.1 — Constante radioactive .....	65
5.2.2 — Vie moyenne $\tau$ , période (Fig. 5.1) .....	66
5.2.3 — Activité radioactive .....	67
5.3 — Les filiations radioactives .....	68
5.4 — La radioactivité naturelle .....	71
5.4.1 — Radioactivité de l'écorce terrestre (Tableaux 5.2 et 5.3) .....	71
5.4.2 — Radioactivité de l'atmosphère (Tableau 5.4) .....	73
5.5 — La radioactivité artificielle .....	75
5.5.1 — Sa découverte .....	75
5.5.2 — La région de stabilité des noyaux .....	75
5.5.3 — Activation d'une cible .....	77
5.6 — Les éléments transuraniens .....	78
5.6.1 — Leur découverte .....	78
5.6.2 — Les noyaux les plus lourds .....	80
5.6.3 — ... et au-delà ? .....	80

## CHAPITRE 6

<b>Les principaux modes d'émission radioactive .....</b>	<b>81</b>
6.1 — La radioactivité alpha .....	81
6.1.1 — Systématique de la radioactivité alpha .....	81
6.1.2 — Impossibilité d'un calcul classique .....	82
6.1.3 — Utilisation de l'effet tunnel .....	83
6.2 — Transitions produites par l'interaction électromagnétique .....	85
6.2.1 — L'isomérisme nucléaire .....	85
6.2.2 — La conversion interne .....	86
6.3 — La radioactivité bêta, première manifestation de l'interaction faible ....	88
6.3.1 — Propriétés expérimentales .....	88
6.3.2 — Systématique de la radioactivité bêta .....	90

6.3.3 — Introduction du neutrino ( $\nu_e$ ) .....	91
6.3.4 — Stabilité des noyaux vis-à-vis de la radioactivité bêta .....	92
6.3.5 — Théorie de Fermi .....	95
6.4 — La capture électronique .....	97
6.5 — Les neutrinos .....	98
6.5.1 — Recherche de l'existence des neutrinos .....	98
6.5.2 — Les neutrinos sont-ils massifs ? .....	98
6.5.3 — Hypothèse des oscillations du neutrino .....	99
<b>CHAPITRE 7</b>	
<b>Les sources de particules</b> .....	101
7.1 — Le rayonnement cosmique .....	101
7.1.1 — Le rayonnement primaire .....	101
7.1.2 — Le rayonnement secondaire .....	101
7.2 — Les accélérateurs .....	102
7.2.1 — Les accélérateurs électromagnétiques .....	102
7.2.2 — Les accélérateurs linéaires .....	104
7.2.3 — Le cyclotron .....	107
7.2.4 — Le synchro-cyclotron .....	108
7.2.5 — Le synchrotron a protons .....	108
7.3 — Les sources de neutrons .....	109
7.3.1 — Utilisation des particules produites par une source radioactive .....	109
7.3.2 — Accélérateurs de particules .....	110
7.3.3 — Les réacteurs nucléaires .....	110
7.4 — Sources de photons .....	111
7.4.1 — Rayonnement de freinage .....	111
7.4.2 — Rayonnement synchrotron (voir § 4.2.2) .....	112
<b>CHAPITRE 8</b>	
<b>Pénétration des particules dans la matière</b> .....	113
8.1 — Interactions des particules chargées ; leur pénétration dans la matière .....	113
8.1.1 — Muons, hadrons, noyaux .....	113
8.1.2 — Les électrons .....	119
8.1.3 — Rayonnement Cerenkov .....	122
8.2 — Interactions des photons .....	123
8.2.1 — Diffusion Thomson .....	123
8.2.2 — Diffusion Compton .....	124
8.2.3 — Effet photo-électrique .....	126
8.2.4 — Production de paires .....	127
8.2.5 — Comparaison de ces divers processus .....	128
8.3 — Interactions des neutrons. Leur pénétration dans la matière .....	128
8.3.1 — La diffusion élastique .....	128
8.3.2 — Les interactions inélastiques .....	130
8.3.3 — La fission .....	131
<b>CHAPITRE 9</b>	
<b>Détection des particules</b> .....	133
9.1 — Comment classer les détecteurs de particules ? .....	133
9.1.1 — Classement selon le mécanisme de fonctionnement .....	133

9.1.2 — Classement selon ce que l'on mesure .....	138
9.1.3 — Quelques définitions indispensables .....	139
9.2 — Les détecteurs fondés sur l'ionisation .....	143
9.2.1 — Généralités .....	143
9.2.2 — La chambre d'ionisation contenant un gaz .....	145
9.2.3 — Compteurs proportionnels .....	148
9.2.4 — Compteurs de Geiger et Müller .....	150
9.2.5 — Les détecteurs de silicium et de germanium .....	153
9.3 — Les détecteurs à scintillations .....	161
9.3.1 — Les photomultiplicateurs à dynodes (P.M.) .....	162
9.3.2 — Les scintillateurs .....	169

CHAPITRE 10

Dosimétrie des rayonnements .....	177
10.1 — Caractérisation du champ de rayonnement autour d'une source.	
Énergie communiquée au milieu .....	177
10.1.1 — Le champ de rayonnement .....	177
10.1.2 — L'énergie communiquée au milieu en un point .....	180
10.1.3 — La microdosimétrie .....	181
10.1.4 — La radioprotection .....	183
10.1.5 — L'irradiation de la population. Son origine .....	183
10.2 — La dosimétrie des particules .....	185
10.2.1 — Les dosimètres absolus .....	185
10.2.2 — Les dosimètres relatifs .....	186
10.2.3 — Dosimétrie absolue : la calorimétrie .....	187
10.2.4 — Dosimétrie absolue : le dosimètre chimique de Fricke .....	187
10.2.5 — Dosimétrie absolue : la chambre d'ionisation .....	189
10.2.6 — Les dosimètres relatifs .....	192

ANNEXE N° 1

Les prix Nobel concernant les rayonnements ionisants, la physique nucléaire, les particules .....	201
--	-----

ANNEXE N° 2

Quelques ouvrages à consulter pour des informations complémentaires (en dehors de cette collection) .....	204
Index alphabétique .....	207