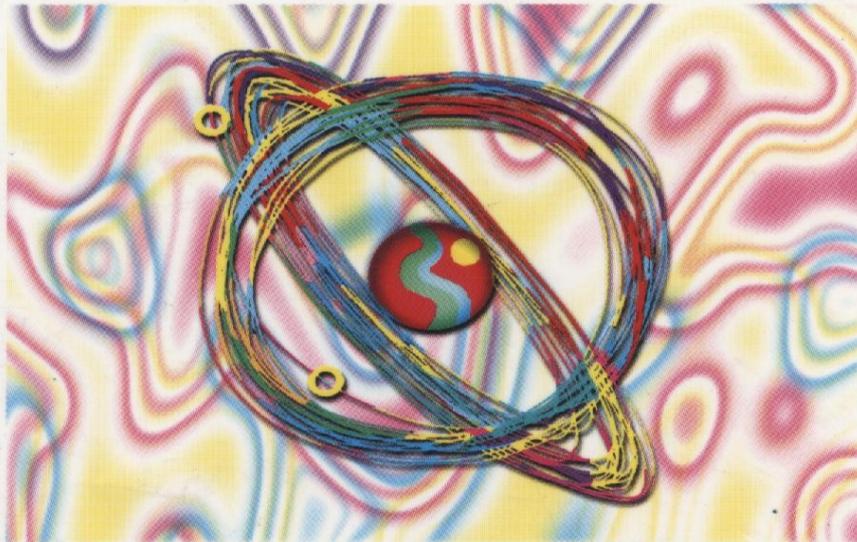


Daniel Blanc

1^{er} / 2^e CYCLE • ÉCOLES D'INGÉNIEURS

**Précis
de physique
nucléaire**



2^e édition

DUNOD

Table des matières

Avant-propos	XI
CHAPITRE 1	
Promenade autour du nucléaire	1
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	
Le noyau	13
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

Les réactions nucléaires	27
3.1 — Cinématique de la diffusion élastique	27
3.1.1 — Étude de la diffusion dans le système (L) (Fig. 3.1a)	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

Les particules, leurs interactions	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	
Radioactivité naturelle, radioactivité artificielle	63
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 τ , 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	
Les principaux modes d'émission radioactive	81
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 (ν_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

CHAPITRE 7

Les sources de particules	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

CHAPITRE 8

Pénétration des particules dans la matière	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

CHAPITRE 9

Détection des particules	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)	205
--	------------

Index alphabétique.....	207
--------------------------------	------------

SCIENCES SUP

Daniel Blanc

PRÉCIS DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Cet ouvrage de synthèse expose les notions de base de la physique du noyau et des domaines qui l'entourent. Il se veut très pédagogique et se place à un niveau mathématique aussi abordable que possible.

Il s'adresse aux étudiants qui abordent le domaine pour la première fois, qu'ils soient en université, en IUT ou en école d'ingénieurs. Il pourra également intéresser les étudiants d'autres domaines, comme ceux des professions de santé.

Après avoir présenté un panorama général, l'auteur étudie les noyaux, les particules et leurs interactions, en allant jusqu'aux particules ultra-relativistes. La radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle sont ensuite abordées, ainsi que les principaux modes d'émission radioactive. L'auteur se tourne ensuite vers des questions plus précises : les sources de rayonnement, la pénétration des particules dans la matière, la détection considérée d'un point de vue global, la radiométrie, et enfin la dosimétrie, si importante en radioprotection.



2^e édition

DANIEL BLANC
est Professeur émérite
des Universités.

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

PHYSIQUE APPLIQUÉE

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE



9 782100 041985

ISBN 2 10 004198 3
Code 044198

<http://www.dunod.com>

