

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS .....	xvii
CHAPITRE PREMIER. — <i>Généralités</i> .....	1
1-1. <i>La diffusion élastique — Systèmes de référence employés en physique nucléaire</i> .....	1
1-1-1. Etude de la diffusion dans le système du laboratoire .....	3
1-1-2. Etude de la diffusion dans le système du centre de masse .....	4
1-2. <i>Diffusion élastique coulombienne des particules alpha. Conséquences concernant les idées sur la structure de l'atome</i> .....	4
1-2-1. Le modèle de Rutherford .....	5
1-2-2. Expériences de Geiger et Marsden .....	8
1-3. <i>Les réactions nucléaires</i> .....	9
1-4. <i>Le neutron, la fission</i> .....	11
1-5. <i>Les réactions thermonucléaires</i> .....	13
1-6. <i>Section efficace d'une réaction nucléaire</i> .....	14
1-6-1. Section géométrique du noyau .....	14
1-6-2. Sections efficaces des particules rapides .....	15
1-6-3. Sections efficaces des particules lentes .....	16
1-6-4. Section efficace différentielle .....	18
1-6-5. Section efficace totale .....	18
1-7. <i>Les particules connues actuellement</i> .....	19
1-7-1. Tableau des particules .....	19
1-7-1-1. Particules et antiparticules .....	19
1-7-1-2. Propriétés de symétrie de la fonction d'onde .....	22
1-7-1-3. Valeurs des masses .....	22
1-7-2. Lois de symétrie .....	23
1-7-2-1. Réflexion des coordonnées ou parité (P) .....	23
1-7-2-2. Réversibilité du temps (T) .....	24
1-7-2-3. Conjugaison de charge (C) .....	24
1-7-2-4. Symétrie (CPT) .....	24
1-8. <i>Les forces de la physique</i> .....	24
1-8-1. Les quatre interactions .....	24
1-8-2. Application de la théorie quantique des champs : le quantum d'interaction .....	26
1-8-2-1. Interaction forte : le gluon .....	26
1-8-2-2. Interaction électromagnétique : le photon .....	27
1-8-2-3. Interaction faible : le boson vectoriel intermédiaire .....	28
1-8-2-4. Interaction de gravitation : le graviton .....	29
1-8-3. Principe de conservation de la parité .....	30
1-8-4. Non conservation de la parité par l'interaction faible .....	30

1-9. <i>Les recherches actuelles. Les moyens à mettre en œuvre</i> .....	32
1-9-1. Les accélérateurs d'ions lourds .....	32
1-9-2. Les accélérateurs aux énergies intermédiaires .....	34
1-9-2-1. Les synchrotrons à protons .....	34
1-9-2-2. Les usines à pions .....	34
1-9-2-3. Les accélérateurs d'électrons .....	35
1-9-3. La course aux hautes énergies .....	35
1-9-3-1. Les synchrotrons à protons .....	37
1-9-3-2. Les anneaux de stockage et collisions (ou d'intersections) .....	37
<i>Bibliographie</i> .....	39
<i>Exercices</i> .....	40
<b>CHAPITRE 2. — <i>Connaissance globale du noyau atomique</i></b> .....	42
2-1. <i>Constitution du noyau</i> .....	42
+2-1-1. Symboles représentant l'atome et le noyau .....	43
+2-1-2. Isotopes, isobares, isotones .....	43
2-1-3. Le système des masses atomiques .....	44
2-2. <i>Les éléments transuraniens</i> .....	44
2-2-1. Les transuraniens connus .....	44
2-2-2. Les éléments hyper-lourds .....	46
2-3. <i>Energie de liaison nucléaire</i> .....	48
2-3-1. Energie de liaison globale $E_l$ du noyau .....	48
2-3-2. Energie de liaison moyenne par nucléon, $E_l/A$ .....	49
2-3-3. Modes possibles de production d'énergie à partir des réactions nucléaires .....	50
2-4. <i>Modèle de la goutte liquide</i> .....	50
2-4-1. Hypothèses de base .....	50
2-4-2. Formule semi-empirique de von Weizsäcker .....	51
2-4-3. Détermination des coefficients de la formule (2-8) .....	54
2-4-4. Corrections apportées à la formule .....	55
2-4-5. Applications de la formule de Weizsäcker .....	55
2-4-5-1. Détermination des rayons nucléaires .....	55
2-4-5-2. Stabilité des noyaux vis-à-vis de la radioactivité bêta .....	56
2-4-5-3. Calcul du bilan d'énergie des réactions nucléaires .....	58
2-4-5-4. Fission nucléaire spontanée .....	58
2-5. <i>Mesure des rayons nucléaires</i> .....	62
2-5-1. Mesures de Hofstadter (diffusion d'électrons rapides) .....	62
2-5-2. Spectres de rayons X .....	65
2-5-3. Structure des nucléons .....	67
2-6. <i>Conclusion</i> .....	67
<i>Bibliographie</i> .....	70
<i>Exercices</i> .....	71
<b>CHAPITRE 3. — <i>Nucléons et noyaux considérés comme des systèmes de la mécanique quantique</i></b> .....	73
3-1. <i>Quantification des nucléons</i> .....	73
3-1-1. Nombre quantique principal $n$ , radial $n_r$ .....	73
3-1-2. Nombre quantique orbital $l$ .....	74
3-1-3. Nombre quantique de spin $s$ .....	75

3-1-4. Nombre quantique $j$ .....	75
3-1-5. Nombre quantique magnétique orbital $m_l$ .....	75
3-1-6. Nombre quantique magnétique de spin $m_s$ .....	76
3-1-7. Nombre quantique magnétique total $m$ .....	76
3-1-8. Isospin $T$ .....	76
<b>3-2. Quantification des états nucléaires</b> .....	76
3-2-1. Niveaux nucléaires excités .....	76
3-2-2. Moment angulaire total .....	77
3-2-3. Nombre quantique magnétique nucléaire $m_j$ .....	77
3-2-4. Parité du noyau .....	78
3-2-5. Moment magnétique dipolaire .....	78
3-2-5-1. Unité utilisée .....	78
3-2-5-2. Moment magnétique dipolaire des nucléons libres .....	78
3-2-5-3. Moments magnétiques des nucléons dans les noyaux .....	79
3-2-5-4. Moments magnétiques dipolaires des noyaux .....	80
3-2-6. Moment électrique quadripolaire .....	81
3-2-6-1. Calcul classique .....	81
3-2-6-2. Calcul quantique .....	83
3-2-6-3. Valeur mesurée du moment électrique quadripolaire .....	83
<b>3-3. Etude du deutéron</b> .....	84
3-3-1. Données expérimentales .....	84
3-3-1-1. Energie de liaison .....	84
3-3-1-2. Moment angulaire, parité .....	84
3-3-1-3. Rayon nucléaire .....	84
3-3-2. Etude théorique .....	85
3-3-2-1. Considérations de base .....	85
3-3-2-2. Résolution de l'équation .....	86
3-3-2-3. Normalisation de la fonction d'onde radiale .....	88
3-3-3. Remarque .....	89
<b>Bibliographie</b> .....	90
<b>Exercices</b> .....	90
<b>CHAPITRE 4. — Les désintégrations radioactives</b> .....	91
<b>4-1. Divers types de radioactivité</b> .....	91
4-1-1. La radioactivité alpha .....	91
4-1-2. La radioactivité $\beta$ .....	92
4-1-3. La radioactivité bêta .....	92
4-1-4. Emissions de rayons gamma .....	93
<b>4-2. Lois de l'émission radioactive</b> .....	93
4-2-1. Le noyau produit est stable .....	95
4-2-2. Le noyau produit est radioactif .....	95
<b>4-3. Eléments radioactifs naturels. Eléments radioactifs artificiels</b> .....	98
4-3-1. Radioactivité naturelle .....	98
4-3-1-1. Radionucléides existant dans l'écorce terrestre .....	100
4-3-1-2. Radionucléides produits par l'interaction du rayonnement cosmique avec l'atmosphère .....	101
4-3-2. Radioactivité artificielle .....	101
4-3-2-1. Activation d'une cible .....	103
4-3-2-2. Séries collatérales .....	103
4-3-2-3. Radionucléides émetteurs bêta .....	105
4-3-3. Radioactivité du neutron .....	105
<b>4-4. Activité radioactive</b> .....	105

4-5. Radioactivité alpha .....	106
4-5-1. Propriétés expérimentales .....	106
4-5-2. Systématique de la radioactivité alpha .....	108
4-5-3. Théorie de la radioactivité alpha .....	110
4-5-3-1. Impossibilité d'un calcul classique .....	111
4-5-3-2. Utilisation de l'effet tunnel .....	112
4-6. Radioactivité bêta .....	114
4-6-1. Propriétés expérimentales .....	114
4-6-2. Systématique de la radioactivité bêta .....	116
4-6-3. Introduction du neutrino .....	117
4-6-3-1. Interprétation du spectre bêta .....	117
4-6-3-2. Recherche de l'existence du neutrino .....	118
4-6-3-3. Hélicité du neutrino .....	119
4-6-3-4. Masse du neutrino .....	119
4-6-3-5. Les deux sortes de neutrinos .....	120
4-6-4. Théorie de la radioactivité bêta .....	120
4-6-4-1. Equation de Fermi .....	121
4-6-4-2. Diagramme de Kurie .....	122
4-6-4-3. Période des émetteurs bêta .....	123
4-6-4-4. Classification des transitions bêta .....	123
4-7. Capture électronique .....	125
4-8. Radioactivité bêta double .....	126
Bibliographie .....	127
Exercices .....	128
<b>CHAPITRE 5. — Emissions de rayons gamma</b> .....	131
5-1. Largeur de niveau nucléaire .....	131
5-2. Caractère multipolaire de l'émission gamma .....	132
5-3. Isomérisme nucléaire .....	134
5-4. Conversion interne .....	135
5-5. Mesure des largeurs de niveaux .....	136
5-5-1. Mesure directe de la vie moyenne $\tau$ .....	137
5-5-2. Mesure d'absorption par résonance .....	137
5-5-2-1. Utilisation du mouvement de noyaux individuels .....	138
5-5-2-2. Effet Mossbauer .....	138
Bibliographie .....	139
Exercices .....	141
<b>CHAPITRE 6. — Pénétration des particules dans la matière</b> .....	142
6-1. Perte d'énergie des particules lourdes chargées .....	142
6-1-1. Calcul classique .....	142
6-1-2. Calcul quantique .....	142
6-1-3. Ionisation spécifique .....	144
6-1-4. Parcours .....	145
6-2. Exemple des particules $\alpha$ .....	146
6-2-1. Parcours .....	147
6-2-2. Ionisation .....	147
6-3. Perte d'énergie des électrons .....	148
6-3-1. Etude théorique .....	150
6-3-1-1. Diffusion sur les électrons atomiques .....	150
6-3-1-2. Diffusion coulombienne atomique .....	150
6-3-1-3. Rayonnement de freinage .....	151
6-3-2. Etude expérimentale .....	151
	152

6-3-2-1. Parcours maximal des rayons $\beta$ d'un radionucléide .....	152
6-3-2-2. Parcours d'électrons monocinétiques .....	153
6-3-2-3. Ionisation .....	153
6-4. Cas des positrons .....	154
6-4-1. Annihilation du positron .....	154
6-4-2. Le positronium .....	154
6-5. Effet Cerenkov .....	156
6-5-1. Milieux matériels denses .....	158
6-5-2. Milieux gazeux (pression moyenne) .....	158
6-6. Perte d'énergie des neutrons .....	159
6-7. Interactions des rayons $X$ et $\gamma$ .....	160
6-7-1. Effet Thomson .....	161
6-7-2. Diffusion Compton .....	162
6-7-3. Effet photoélectrique .....	163
6-7-4. Production de paires .....	163
6-8. Atténuation d'un faisceau de rayons gamma. Absorption de son énergie .....	164
Additif au § 6-4-2 .....	167
Bibliographie .....	167
Exercices .....	168
<b>CHAPITRE 7. — Les réactions nucléaires</b> .....	<b>170</b>
7-1. Lois de conservation .....	170
7-1-1. Conservation de la charge .....	171
7-1-2. Conservation de la quantité de mouvement .....	171
7-1-3. Conservation de l'énergie .....	171
7-1-4. Conservation de la parité .....	173
7-2. Seuil d'une réaction endoénergétique .....	173
7-3. Fonction d'excitation d'une réaction nucléaire .....	174
7-3-1. Au-dessous de 1 MeV: résonances .....	174
7-3-2. Entre 1 et 50 MeV environ: continuum .....	174
7-3-3. Au-dessus de 50 MeV environ .....	175
7-4. Généralités sur les sections efficaces .....	175
7-4-1. Coefficient de transmission du noyau .....	176
7-4-2. Cas de la diffusion élastique .....	177
7-5. Modèles utilisés .....	177
7-5-1. Modèle du noyau composé .....	178
7-5-2. Modèle optique .....	180
7-5-3. Réactions de «stripping» ou «stripage» .....	182
7-5-4. Modèle unifié de Feshbach .....	183
7-6. Calcul des sections efficaces dans le cadre du modèle du noyau composé .....	184
7-6-1. Section efficace de formation du noyau composé .....	184
7-6-1-1. Cas des particules neutres .....	184
7-6-1-2. Cas des particules chargées .....	185
7-6-1-3. Résonances .....	185
7-6-2. Section efficace $\sigma_{xy}$ (près d'une résonance) .....	186
7-6-3. Région du continuum .....	187
Bibliographie .....	188
Exercices .....	188

CHAPITRE 8. — <i>Le neutron</i> .....	190
8-1. <i>Fiche signalétique du neutron</i> .....	190
8-1-1. Masse .....	190
8-1-2. Spin .....	190
8-1-3. Moment magnétique dipolaire .....	191
8-1-4. Structure .....	191
8-1-5. Radioactivité .....	191
8-1-6. Classement des neutrons en fonction de leur énergie .....	192
8-1-6-1. Neutrons froids .....	194
8-1-6-2. Neutrons thermiques .....	194
8-1-6-3. Neutrons d'énergies supérieures aux valeurs thermiques .....	195
8-2. <i>Sources de neutrons</i> .....	196
8-2-1. Sources radioactives: réactions ( $\alpha$ , n) .....	196
8-2-1-1. Sources de polonium-béryllium .....	196
8-2-1-2. Sources de radium-béryllium .....	197
8-2-1-3. Autres sources ( $\alpha$ , n) .....	197
8-2-1-4. Rendements obtenus .....	197
8-2-2. Sources radioactives: réactions ( $\gamma$ , n) .....	197
8-2-3. Sources à fission spontanée .....	198
8-2-4. Accélérateurs de particules .....	199
8-2-4-1. Réactions ( $\gamma$ , n): photoneutrons .....	199
8-2-4-2. Interactions nucléaires des particules chargées .....	199
8-2-5. Fission nucléaire .....	202
8-2-5-1. Fission par neutrons lents .....	202
8-2-5-2. Fission par d'autres particules .....	203
8-2-6. Sources de neutrons thermiques .....	203
8-2-6-1. Réacteurs .....	203
8-2-6-2. Sources radioactives .....	204
8-2-7. Sources de neutrons froids .....	205
8-2-8. Sources de neutrons ultra-froids .....	206
8-3. <i>Spectrométrie des neutrons</i> .....	208
8-3-1. Mesure directe des vitesses: spectromètres mécaniques .....	208
8-3-2. Mesure directe des longueurs d'onde: le spectromètre à cristal .....	210
8-4. <i>Interactions des neutrons avec la matière</i> .....	211
8-4-1. Diffusion élastique .....	211
8-4-1-1. Etude théorique .....	212
8-4-1-2. Etude expérimentale .....	213
8-4-2. Diffusion inélastique .....	214
8-4-2-1. Noyaux légers .....	214
8-4-2-2. Noyaux de masses moyennes .....	215
8-4-2-3. Noyaux lourds .....	215
8-4-3. Réactions de capture .....	215
8-4-3-1. Généralités .....	215
8-4-3-2. Captures radiative (n, $\gamma$ ) .....	216
8-4-3-3. Réactions (n, p) .....	218
8-4-3-4. Réactions (n, $\alpha$ ) .....	219
8-4-3-5. Interactions de neutrons très rapides .....	219
<i>Bibliographie</i> .....	220
<i>Exercices</i> .....	221
CHAPITRE 9. — <i>Fission nucléaire, réaction en chaîne</i> .....	223
9-1. <i>Application du modèle du puits de potentiel</i> .....	223
9-1-1. $Q > V$ : Fission spontanée .....	224
9-1-2. $Q < V$ : Fission induite .....	224
9-1-2-1. $E_n > V - Q$ .....	224
9-1-2-2. $E_n < V - Q$ .....	225

9-2. Particularités de la réaction de fission .....	225
9-2-1. L'énergie produite .....	225
9-2-2. Les fragments de fission .....	225
9-2-3. L'émission de neutrons rapides .....	226
9-3. Fission accompagnée de particules $\alpha$ . Tripartition, quadripartition .....	226
9-4. Sections efficaces des réactions de fission .....	227
9-4-1. Noyaux du premier groupe .....	227
9-4-2. Noyaux du deuxième groupe .....	228
9-5. Energie dégagée par la réaction de fission .....	229
9-6. Les produits de fission .....	231
9-7. Neutrons émis par la fission .....	232
9-7-1. Neutrons immédiats .....	233
9-7-2. Neutrons différés .....	233
9-8. Notions sur la réaction en chaîne .....	235
9-8-1. Quantités caractérisant la réaction en chaîne .....	235
9-8-2. Rôle joué par les neutrons différés .....	237
9-8-3. Condition de criticité .....	237
9-8-3-1. Probabilité P .....	237
9-8-3-2. Condition de criticité pour un réacteur de dimensions infinies .....	238
9-8-4. Rapport de sur-régénération .....	240
9-9. Pour l'énergie atomique ? .....	241
9-9-1. Les besoins en énergie .....	241
9-9-2. Les ressources .....	242
9-9-2-1. L'énergie solaire .....	242
9-9-2-2. L'énergie géophysique .....	242
9-9-2-3. Les combustibles fossiles .....	242
9-9-2-4. L'énergie atomique .....	242
9-10. Les filières de réacteurs nucléaires .....	244
9-10-1. Les réacteurs à neutrons thermiques .....	244
9-10-1-1. La filière graphite-gaz .....	244
9-10-1-2. La filière (eau légère-eau légère) .....	245
9-10-2. Les réacteurs à neutrons rapides .....	245
9-10-3. La sur-génération par le cycle uranium-thorium .....	246
9-10-4. Les installations associées aux réacteurs .....	246
9-10-4-1. Usines d'enrichissement isotopique .....	246
9-10-4-2. Usines de traitement du combustible irradié .....	247
Bibliographie .....	247
Exercices .....	247
<b>CHAPITRE 10. — Les réactions thermonucléaires</b> .....	249
10-1. Les réactions thermonucléaires en cosmologie .....	249
10-2. Quelles réactions thermonucléaires choisir pour la production d'énergie ? .....	251
10-3. Relation entre l'énergie cinétique et la température .....	253
10-4. Principe d'un réacteur thermonucléaire .....	254
10-4-1. Réacteurs à confinement magnétique .....	255
10-4-2. Réacteurs à confinement inertiel .....	256
10-4-3. Sur-régénération possible du tritium .....	256
10-4-4. Contamination radioactive .....	257

10-5. <i>Le confinement magnétique. Conditions nécessaires de divergence</i> .....	257
10-5-1. Principe du confinement magnétique .....	257
10-5-1-1. Mouvement d'une particule chargée dans une induction magnétique .....	258
10-5-1-2. Confinement d'un plasma .....	258
10-5-2. Température d'ignition .....	259
10-5-2-1. Puissance générée $P_f$ .....	260
10-5-2-2. Puissance rayonnée $P_r$ .....	262
10-5-2-3. Valeur de la température d'ignition .....	263
10-5-3. Durée minimale de confinement : le critère de Lawson .....	263
10-6. <i>Cas du confinement inertiel</i> .....	264
10-7. <i>Réalisations actuelles</i> .....	265
10-7-1. Machines à confinement magnétique .....	265
10-7-1-1. Miroirs magnétiques .....	266
10-7-1-2. Machines à striction rapide .....	268
10-7-1-3. Les Stellarators .....	268
10-7-1-4. Les Tokamaks .....	269
10-7-2. Machines à confinement inertiel .....	271
10-7-2-1. Implosion par laser .....	271
10-7-2-2. Implosion par des faisceaux d'électrons .....	273
10-7-2-3. Implosion par des faisceaux d'ions positifs .....	273
10-7-3. Vers le réacteur thermonucléaire .....	274
10-8. <i>Conclusion</i> .....	275
<i>Bibliographie</i> .....	277
<i>Exercices</i> .....	278
<b>CHAPITRE 11. — Les modèles nucléaires</b> .....	279
11-1. <i>Modèle des couches</i> .....	280
11-1-1. Introduction .....	280
11-1-2. Oscillateur harmonique .....	280
11-1-3. Puits de potentiel rectangulaire à parois infinies .....	281
11-1-4. Puits de potentiel rectangulaire à parois finies .....	282
11-1-5. Puits de potentiel non rectangulaire .....	284
11-1-6. Couplage (spin-orbite) .....	285
11-1-7. Groupement des nucléons en couches .....	286
11-1-8. Caractéristiques globales du noyau .....	286
11-1-8-1. Parité .....	287
11-1-8-2. Moment angulaire .....	287
11-1-8-3. Règles générales .....	287
11-2. <i>Modèle unifié de Bohr et Mottelson</i> .....	287
11-3. <i>Modèle du gaz de Fermi</i> .....	288
11-4. <i>Les modèles à agglomérats</i> .....	290
11-4-1. Le modèle de Wheeler .....	291
11-4-2. Les modèles actuels à agglomérats .....	291
11-5. <i>Conclusion</i> .....	292
<i>Bibliographie</i> .....	293
<i>Exercices</i> .....	294
<b>CHAPITRE 12. — Dynamique des particules relativistes</b> .....	294
12-1. <i>Transformation de Lorentz</i> .....	295
.....	295

10-5. <i>Le confinement magnétique. Conditions nécessaires de divergence</i> .....	257
10-5-1. Principe du confinement magnétique .....	257
10-5-1-1. Mouvement d'une particule chargée dans une induction magnétique .....	258
10-5-1-2. Confinement d'un plasma .....	258
10-5-2. Température d'ignition .....	259
10-5-2-1. Puissance générée $P_f$ .....	260
10-5-2-2. Puissance rayonnée $P_r$ .....	262
10-5-2-3. Valeur de la température d'ignition .....	263
10-5-3. Durée minimale de confinement : le critère de Lawson .....	263
10-6. <i>Cas du confinement inertiel</i> .....	264
10-7. <i>Réalisations actuelles</i> .....	265
10-7-1. Machines à confinement magnétique .....	265
10-7-1-1. Miroirs magnétiques .....	266
10-7-1-2. Machines à striction rapide .....	268
10-7-1-3. Les Stellarators .....	268
10-7-1-4. Les Tokamaks .....	269
10-7-2. Machines à confinement inertiel .....	271
10-7-2-1. Implosion par laser .....	271
10-7-2-2. Implosion par des faisceaux d'électrons .....	273
10-7-2-3. Implosion par des faisceaux d'ions positifs .....	273
10-7-3. Vers le réacteur thermonucléaire .....	274
10-8. <i>Conclusion</i> .....	275
<i>Bibliographie</i> .....	277
<i>Exercices</i> .....	278
<b>CHAPITRE 11. — Les modèles nucléaires</b> .....	279
11-1. <i>Modèle des couches</i> .....	280
11-1-1. Introduction .....	280
11-1-2. Oscillateur harmonique .....	281
11-1-3. Puits de potentiel rectangulaire à parois infinies .....	282
11-1-4. Puits de potentiel rectangulaire à parois finies .....	284
11-1-5. Puits de potentiel non rectangulaire .....	285
11-1-6. Couplage (spin-orbite) .....	286
11-1-7. Groupement des nucléons en couches .....	286
11-1-8. Caractéristiques globales du noyau .....	287
11-1-8-1. Parité .....	287
11-1-8-2. Moment angulaire .....	287
11-1-8-3. Règles générales .....	287
11-2. <i>Modèle unifié de Bohr et Mottelson</i> .....	288
11-3. <i>Modèle du gaz de Fermi</i> .....	290
11-4. <i>Les modèles à agglomérats</i> .....	291
11-4-1. Le modèle de Wheeler .....	291
11-4-2. Les modèles actuels à agglomérats .....	292
11-5. <i>Conclusion</i> .....	293
<i>Bibliographie</i> .....	294
<i>Exercices</i> .....	294
<b>CHAPITRE 12. — Dynamique des particules relativistes</b> .....	295
12-1. <i>Transformation de Lorentz</i> .....	295

13-3-2. Tableau des hadrons ..... 324

    13-3-2-1. Les mésons ..... 324

    13-3-2-2. Les baryons ..... 326

13-4. Le méson  $\psi$  (ou  $J$ ) ..... 327

    13-4-1. Les expériences du groupe de Richter ..... 327

    13-4-2. Les expériences du groupe de Ting ..... 328

    13-4-3. Résultats ultérieurs ..... 330

13-5. Les faisceaux de neutrinos ..... 330

    13-5-1. Production et détection des neutrinos ..... 331

    13-5-2. La découverte d'interactions faibles de courant neutre ..... 332

        13-5-2-1. Expériences au CERN ..... 332

        13-5-2-2. Expériences au Fermilab ..... 332

    13-5-3. Vers les particules charmées ..... 334

        13-5-3-1. Résultats préliminaires ..... 334

        13-5-3-2. La découverte du méson  $D^0$  ..... 334

13-6. Le lepton lourd  $\tau$  ..... 336

Bibliographie ..... 336

Exercices ..... 337

**CHAPITRE 14. — Les conceptions actuelles sur la structure ultime de la matière et les forces de la physique** ..... 338

14-1. Nombres quantiques des particules ..... 338

    14-1-1. L'isospin T (ou spin isotopique) ..... 338

        14-1-1-1. Cas des nucléons (doublets) ..... 338

        14-1-1-2. Cas des pions (triplets) ..... 339

    14-1-2. L'hypercharge Y ..... 340

    14-1-3. L'étrangeté S ..... 340

    14-1-4. Le charme C ..... 341

    14-1-5. La beauté B ..... 341

14-2. Classification des particules. Les quarks ..... 341

    14-2-1. Modes de classification ..... 341

        14-2-1-1. Les trajectoires de Regge (1959) ..... 341

        14-2-1-2. La théorie de Gell-Mann et Neeman, SU (3) ..... 343

    14-2-2. Introduction des quarks ..... 345

        14-2-2-1. Les quarks  $u, d, s$  ..... 345

        14-2-2-2. Preuve indirecte de l'existence des quarks ..... 346

        14-2-2-3. Introduction de la couleur ..... 347

    14-2-3. Nécessité d'introduire de nouveaux quarks ..... 347

        14-2-3-1. Introduction du quark charmé  $c$  ..... 347

        14-2-3-2. La résonance « epsilon » ( $\Psi$ ): il y a un cinquième quark,  $b$ , et probablement un sixième,  $t$  ..... 348

    14-2-4. Structure et classification des hadrons ..... 349

        14-2-4-1. Structures des hadrons ..... 350

        14-2-4-2. Groupement des hadrons en super-multiplets ..... 352

    14-2-5. Le charmonium ..... 352

    14-2-6. Des particules « exotiques » ? ..... 353

14-3. Les particules élémentaires, leptons et quarks ..... 354

    14-3-1. Masses des quarks ..... 356

    14-3-2. Recherche de quarks libres ..... 357

        14-3-2-1. Le rayonnement cosmique ..... 358

        14-3-2-2. Les accélérateurs de particules ..... 358

        14-3-2-3. La matière stable ..... 358

14-4. Les forces de la physique ..... 360

14-4-1. L'interaction électromagnétique .....	360
14-4-2. Unification de l'interaction électromagnétique et de l'interaction faible ..	361
14-4-3. Non conservation de la parité au niveau atomique .....	362
14-4-4. L'interaction forte .....	362
14-4-4-1. La force de cohésion nucléaire .....	362
14-4-4-2. La chromodynamique quantique, ou (QCD) .....	365
14-4-5. L'unification totale des forces de la physique est-elle possible ? .....	369
<i>Bibliographie</i> .....	370
<i>Exercices</i> .....	371
<b>APPENDICE 1. — Historique de la physique nucléaire et corpusculaire</b> ....	372
1-1. Mise en évidence de l'atome, sa structure .....	372
1-2. L'électron; naissance de la physique corpusculaire .....	372
1-3. Radioactivité naturelle, radioactivité artificielle .....	373
1-4. Hypothèses et théories sur les structures atomiques et nucléaires .....	373
1-5. Interactions nucléaires, accélérateurs, particules élémentaires .....	374
1-6. Le neutron, la fission, les réactions thermonucléaires .....	375
1-7. Détection des particules .....	375
<b>APPENDICE 2. — Notion de longueur de diffusion</b> .....	377
<b>APPENDICE 3. — Constantes physiques usuelles</b> .....	379
<b>Bibliographie générale</b> .....	381
<b>Index alphabétique des matières</b> .....	385