

Table des matières

Avant-propos	v
I La Radioactivité, premières énigmes	1
1 Henri Becquerel : les « rayons uraniques »	3
La découverte	4
Vous avez dit phosphorescence?	6
Quelle est la nature de ces radiations?	7
Un impact scientifique et public limité	8
Une découverte « par hasard »?	9
2 La physique à la fin du XIX^e siècle	11
Une promenade à grandes enjambées	12
Optique et spectroscopie	12
Thermodynamique	12
Électricité, magnétisme, électromagnétisme	13
Quelques avancées techniques cruciales	14
Décharges électriques dans les gaz, rayons cathodiques, l'électron	15

« Rayons canaux », ou rayons d'électricité positive	17
Lothar Meyer et Dmitrij Mendeleev : le tableau périodique des éléments	18
Une organisation de la Recherche en pleine évolution	18
L'arrière-plan politique, industriel et social : espoirs et inquiétudes	20
3 Le polonium et le radium	23
Marya Skłodowska	23
Pierre Curie	24
Le polonium et le radium : Pierre et Marie Curie inventent la ra- diochimie	25
Énigmes	28
4 L'émanation du thorium	31
Ernest Rutherford	31
Rutherford aborde la radioactivité : rayons α et β	33
Les rayons β sont des électrons	33
Rutherford à Montréal : l'émanation du thorium, la décroissance exponentielle	34
Radioactivité « induite », radioactivité « provoquée »	35
Elster et Geitel : la radioactivité de l'air et de la terre	37
Une troisième sorte de rayons : les rayons γ	38
L'émanation du thorium est un gaz de la famille de l'argon	38
Tout se complique : la multiplication des « X »	39
« Une énigme, un sujet d'étonnement profond »	40
5 L'écheveau démêlé	41
Les rayons α revisités	43
La radioactivité est une désintégration atomique	44
L'écheveau démêlé : les familles radioactives	45
D'où provient l'énergie de la radioactivité ? l'hypothèse de Rutherford	46
La preuve concrète de la transmutation	49
La radioactivité établie. Les familles radioactives	50
6 Consécérations, deuils : la fin d'une époque	53
1903 : le prix Nobel pour Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie	54
La mort de Pierre Curie	56
1908 : Le prix Nobel de chimie pour Rutherford	56
La mort d'Henri Becquerel	56
II Un noyau au cœur de l'atome	59
1 Préhistoire de l'atome	61
Au XVIII ^e siècle : l'abbé Nollet	62
Au début du XIX ^e siècle : John Dalton, William Prout, Gay-Lussac, Avogadro, Ampère	62
Mais les atomes existent-ils réellement ?	64
1865 : Loschmidt estime la taille des molécules de l'air	65

Les spectres de raies, premiers témoins de la structure interne des atomes	65
Jean Perrin, avocat de la réalité des atomes	65
2 1897 : les électrons sont dans l'atome	69
L'atome selon Philipp Lenard : les « dynamides »	70
Tentatives « numérologiques » pour décrire les spectres de raies : Balmer, Rydberg	70
Premier modèle de J. J. Thomson : un atome entièrement fait d'électrons	71
Une spéculation de Jean Perrin : l'atome comme système solaire en miniature	72
Un atome « saturnien » : Hantaro Nagaoka	73
L'atome « plum pudding » de J. J. Thomson	74
Charles Barkla mesure le nombre d'électrons de l'atome	75
3 La « diffusion » des particules α permet de voir un noyau dans l'atome	79
William Henry Bragg : le freinage des particules α dans la matière	80
La « diffusion » des particules α	81
La nature de la particule α , une question en suspens	83
Le premier compteur « Geiger »	83
La nature de la particule α	86
Une autre méthode de comptage : les scintillations	86
Retour sur la diffusion des particules α	88
Les expériences de Geiger et Marsden	89
Les grandes déviations sont-elles dues à de multiples petites déviations?	90
Rutherford invente le noyau	90
4 Dernière touche : Moseley mesure la charge du noyau	93
Barkla crée la spectroscopie X	93
La diffraction des rayons X : Max von Laue, William Henry et William Lawrence Bragg	94
Henry Moseley mesure la charge des noyaux	95
Paradoxe	97
III Mécanique quantique, le passage obligé	99
1 Bifurcation	101
2 Début improbable	103
Un problème qui résiste	104
1900 : Max Planck invente le « quantum d'action »	107
Le quantum d'action	109
Einstein et les quanta de lumière	109
La chaleur spécifique des solides	112
Le premier Conseil Solvay et la théorie des quanta	113

3 Niels Bohr : les quanta sont dans l'atome	117
Bohr introduit les quanta dans la théorie atomique	118
« Sur la constitution des atomes et des molécules »	120
Les deux autres articles de la « trilogie » de 1913	122
4 1913-1923 : victoires et déboires	125
Confirmation : l'expérience de Franck et Hertz	126
La multiplication des raies : effets Zeeman et Stark	126
Arnold Sommerfeld : orbites elliptiques, nouveaux nombres quantiques	127
Les corrections relativistes et la <i>constante de structure fine</i>	128
Un canular !	129
Nouvelle intervention d'Einstein : l'interaction rayonnement-matière	129
Une victoire de la théorie des quanta : l'effet Stark	130
Le « principe de correspondance »	131
Bohr et le tableau de Mendeleev	132
Le cas des terres rares	134
1918, 1921 et 1922 : trois prix Nobel pour les quanta	135
5 1925 : le principe de Pauli, le spin	137
Wolfgang Pauli	137
Max Born	138
L'expérience de Stern et Gerlach	140
L'effet Compton	141
Une explication étrange de l'effet Zeeman	141
Le principe d'exclusion de Pauli	142
Le « spin » de l'électron	144
6 La mécanique quantique	147
Louis de Broglie	147
Heisenberg et la mécanique des matrices	149
Une physique d'un type nouveau	152
Pauli applique la nouvelle mécanique quantique au spectre de l'hydrogène	153
L'équation de Schrödinger	153
Heisenberg et Schrödinger, bonnet blanc et blanc bonnet	155
L'interprétation probabiliste de Max Born et l'abandon du déterminisme	155
Les matrices de Pauli	157
Des particules indiscernables : la « statistique » de Bose-Einstein	158
Enrico Fermi : une nouvelle « statistique »	159
Paul Adrien Maurice Dirac	161
« Bosons » et « fermions »	164
Les « relations d'incertitude » de Heisenberg	165
Consécration	170
Cinquième Conseil Solvay : le point sur la nouvelle mécanique	170
Langue allemande, langue de la mécanique quantique	172
Une bibliographie succincte	173

IV Une enfance discrète	177
1 Le noyau de l'atome en 1913	179
2 La découverte des isotopes	
et la mesure des masses des noyaux	181
Frederick Soddy	182
Les isotopes	182
La première méthode physique de mesure des masses des atomes .	184
Francis Aston : le premier « spectromètre de masse »	185
La loi des nombres entiers et la vieille hypothèse de Prout	187
L'exception de l'hydrogène	188
Le prix Nobel pour la règle des nombres entiers	191
De nouveaux spectromètres de masse	192
La connaissance des masses des noyaux en 1932. L'énergie de liaison des noyaux	192
3 Une enquête à rebondissements : la radioactivité β	195
Lise Meitner	198
Hahn et Meitner et la radioactivité β	200
Le premier « spectromètre β »	201
Le <i>Kaiser Wilhelm Institut</i>	203
Des nuages s'amoncellent	203
James Chadwick : un spectre continu !	204
Un spectre continu, vraiment ?	206
À Berlin, la guerre	207
Lise Meitner reprend l'étude de la radioactivité β	208
L'expérience décisive de Charles Ellis	209
Scandale : l'énergie ne serait pas conservée !	210
Geiger et Bothe : une expérience de « coïncidences »	211
L'idée de Wolfgang Pauli	212
Mais alors pourquoi toutes ces raies ?	
la clé du mystère	213
4 Premières réactions nucléaires	215
La première réaction nucléaire	216
Sir Ernest Rutherford, <i>Cavendish Professor of Physics</i>	218
Nouvelles réactions nucléaires	219
Une polémique entre Vienne et Cambridge	220
Comment se passent ces transmutations ?	222
5 Le noyau en 1920 selon Rutherford	225
Dimensions du noyau	226
La constitution du noyau et des isotopes	227
Rutherford visionnaire : le neutron	227
Chadwick à la recherche de nouvelles forces	228

6 L'essor des moyens expérimentaux	231
Fin de la méthode des scintillations	232
Le compteur à pointe	232
Le compteur Geiger-Müller	233
Une digression : naissance et développement de la T. S. F.	234
La chambre à ionisation à amplification électronique	236
Le développement des mesures « en coïncidence »	238
La mesure de l'énergie du rayonnement γ	240
Mesures d'absorption	240
Diffraction sur des cristaux	240
L'effet photoélectrique	241
Les électrons de conversion	241
Un détecteur à nul autre pareil : la chambre à brouillard de	
C. T. R. Wilson	241
Charles Thomas Rees Wilson et les nuages	241
Un détecteur hors du commun	243
L'effet Compton vu dans la chambre à brouillard	244
Voir une réaction nucléaire	244
7 Le noyau de l'atome en 1930	247
Des certitudes, et un casse-tête	249
Une évidence.	249
. . . et une énigme : le noyau d'azote 14	249
Faut-il envisager une solution radicale?	251
Au début de 1932 : toujours l'énigme	251
V 1930-1940 : un développement fulgurant	253
1 Le noyau, nouvelle frontière	255
La mécanique quantique dans le noyau	255
George Gamow	255
Salomon Rosenblum et la structure fine de la radioactivité α	258
1931 : premier congrès international de physique nucléaire	260
Goudsmit et le moment magnétique des noyaux	261
Walther Bothe : le mystère du rayonnement pénétrant	262
Georges Gamow : le noyau comme une goutte liquide	262
Découverte d'un isotope exceptionnel : le deuton	264
Bataille pour un nom	265
Le spin du deuton	265
2 La découverte du neutron	267
Frédéric et Irène Joliot-Curie	268
Une projection de protons	270
Le neutron dévoilé	271
La question de la masse du neutron	273

3	La théorie du noyau après la découverte du neutron	277
	Werner Heisenberg	278
	L'interaction d'« échange » de Heisenberg	279
	Le neutron, particule « élémentaire » : un argument de plus	281
	Neutrons et protons se repoussent-ils à très courte distance?	281
	Ettore Majorana	282
	Eugene P. Wigner	285
	Les protons et neutrons sont-ils disposés en couches dans le noyau, comme les électrons dans l'atome?	286
	Avant la découverte du neutron : William Harkins	286
	James Bartlett	287
	Walter Elsasser et Kurt Guggenheimer	287
	Heisenberg et la méthode de Hartree	290
	Wigner et Feenberg, la méthode de Hartree-Fock	291
	Friedrich Hund	292
	Le modèle des couches, une idée d'avenir?	293
4	Une nouvelle particule : le positon	295
	Les rayons cosmiques	295
	Blackett et Occhialini	297
	Carl Anderson découvre l'électron positif	299
	L'électron positif d'Anderson et celui de Dirac	300
	Irène et Frédéric Joliot-Curie	303
5	Naissance des accélérateurs de particules	305
	L'accélération directe, une course aux hautes tensions	306
	La foudre, le générateur à impulsion	307
	La bobine de Tesla	307
	John Cockcroft et Ernest Walton : la première réaction nu- cléaire provoquée avec un accélérateur	308
	Robert van de Graaff	310
	Accélérer en plusieurs fois	311
	Gustaf Ising	311
	Rolf Wideröe	312
	Une idée d'Ernest O. Lawrence	312
	David Sloan : un accélérateur linéaire pour ions lourds	315
	Stanley Livingston : le cyclotron	315
6	L'indépendance de charge de la force nucléaire	319
7	La découverte de la radioactivité artificielle	321
	Les Joliot-Curie après le Conseil Solvay	323
	« Un nouveau type de radioactivité »	324
	La preuve chimique	326
	Comme une traînée de poudre	327
	L'importance de la découverte	328
	De nouvelles perspectives pour les indicateurs radioactifs	329
	En marge de la découverte, la mort de Marie Curie	330

Les prix Nobel 1935 : Chadwick et les Joliot-Curie	331
8 L'École de Rome	333
La théorie de la radioactivité β	334
La physique des neutrons à Rome	337
Des radioéléments par dizaines	337
Des transuraniens?	339
Les neutrons « lents »	340
Une nouvelle branche de la physique nucléaire	342
Les résonances	343
Le prix Nobel pour Fermi et la disparition de l'équipe de Rome	344
9 Le grand exode des savants juifs sous le nazisme	347
10 Foisonnement théorique : Yukawa, Breit et Wigner, Bohr	351
Hideki Yukawa	352
La théorie de Yukawa	352
Est-il possible d'observer ce « quantum hypothétique »?	354
Les forces fondamentales de la nature	354
Le nom de la bête	355
Premières théories des réactions nucléaires	355
Breit et Wigner	356
Niels Bohr et la théorie des réactions nucléaires	357
La structure du noyau selon Bohr en 1937	359
11 Mort d'un géant : Ernest Rutherford	361
12 Hans Bethe fait le point en 1936-1937	363
Hans Albrecht Bethe	364
La structure des noyaux	364
Taille des noyaux	364
Masse et énergie de liaison : la formule de Weizsäcker	365
Forces nucléaires	366
Structure du noyau	366
Les moments angulaires ou <i>spins</i> des noyaux	367
Les moments magnétiques des noyaux	367
Certains noyaux sont-ils déformés? les « moments quadrupolaires »	367
Les réactions nucléaires	368
13 La fission de l'uranium	369
Une découverte <i>molle</i> : les « transuraniens »	369
Des « transuraniens » à la pelle	372
À l'Institut du Radium	374
Lise Meitner fuit l'Allemagne nazie	379
Otto Hahn et Fritz Strassmann se remettent au travail	379
Des résultats de plus en plus déconcertants	381
Le mot de l'énigme	383
La nouvelle se répand aux États-Unis	385

Confirmations	386
Niels Bohr : la théorie de la fission, l'uranium 235	389
La multiplication des neutrons	390
Leo Szilard	391
La réaction en chaîne est-elle possible?	392
Dernières publications avant le début de la guerre	395
Francis Perrin et la masse critique	398
Les brevets français	399
VI Les bouleversements de la guerre	401
1 Une chronologie	403
2 Après la guerre, le nouveau visage de la physique	411
La physique à grande échelle, dite <i>big science</i>	412
Un travail en équipe	413
Les enjeux politiques et militaires, la bombe H	414
Suprématie américaine	415
Europe et Japon après la guerre	416
La Grande Bretagne	416
La France	416
L'Allemagne	418
Le Japon	420
La <i>big science</i> est-elle vraiment l'enfant de la guerre?	420
VII Le temps de la maturité	423
1 Les nouveaux moyens expérimentaux	425
Nouveaux accélérateurs, envolée des énergies	426
Le synchro-cyclotron	426
Le synchrotron à protons	427
L'accélération des électrons	428
Les accélérateurs électrostatiques	429
Nouveaux détecteurs, nouveaux appareils de mesure	431
Le compteur à étincelles et à plaques parallèles	431
Le retour des scintillations par la grâce du <i>photomultiplicateur</i>	432
L'invention du transistor et de la <i>jonction p-n</i>	433
Présence grandissante de l'électronique	435
Un cas à part : les émulsions photographiques	436
2 Les données s'accablent	439
Les articles de Bethe	439
Les véritables transuraniens	440
Le neptunium	440
Le plutonium	441

Les actinides	442
L'espérance de vie du neutron	443
La diffusion des électrons et la distribution de la charge dans le noyau	444
3 La structure « en couches » du noyau	447
Un modèle à particules quasi-indépendantes?	448
Wigner et Feenberg : symétries et supermultiplets	448
Les arguments de Maria Goeppert Mayer	449
L'interaction spin-orbite	451
Johannes Hans Daniel Jensen	451
Un modèle paradoxal	452
4 Le modèle optique	457
Le noyau comme boule de cristal semi-opaque	458
Tentatives « optiques »	459
Le potentiel « optique » de Woods et Saxon	459
L'ordinateur, instrument décisif	461
5 Les réactions nucléaires <i>directes</i>	463
Le « stripping » du deuton	464
À Berkeley : comment « déshabiller » le deuton	464
Birmingham : les distributions angulaires, Stuart Butler	465
Succès et développement de la théorie de Butler	466
La DWBA et l'ordinateur, une union indissoluble	468
Réactions directes, réactions par formation de noyau composé	470
6 Un comportement collectif	473
Réactions photonucléaires	473
Les résonances géantes	475
Les noyaux sont-ils tous sphériques?	476
Un témoin de la déformation : le moment quadrupolaire	476
James Rainwater et Aage Bohr	477
Aage Bohr, du paradoxe à l'unification	478
7 Aage Bohr et Ben Mottelson : un modèle unifié du noyau	481
Ben Mottelson	481
Nouvelles données, nouvelles confirmations	482
Bohr et Mottelson, ou la clé des spectres nucléaires	483
Une spectroscopie nucléaire	485
Les « orbites de Nilsson »	485
L'excitation coulombienne	485
La véritable naissance de la spectroscopie nucléaire	486
Couronnements	487
8 La force nucléaire	489
La découverte du méson π	490
Le méson π^0 complète le trio des <i>pions</i>	491
Le cœur dur	491

9 La matière nucléaire	495
Le défi	495
Keith Brueckner, Jeffrey Goldstone, Hans Bethe et quelques autres	496
Des bases enfin solides	498
L'objection de Niels Bohr est-elle oubliée?	498
Trois conférences internationales	499
Fin d'une époque	499

Suspension	501
-------------------	-----

Notes	505
--------------	-----

Bibliographie des ouvrages cités	549
---	-----

Glossaire	557
------------------	-----

Index	578
--------------	-----