

PHYSIQUE
QUANTIQUE
ET
THERMIQUE
COURS DE
PHYSIQUE
PIERRE MOREL

Hermann  Collection
Paris Méthodes

TABLE

PRÉFACE	11
-------------------	----

I. INTRODUCTION A LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

1. <i>Perspective historique</i>	15
2. <i>Caractère corpusculaire du rayonnement</i>	17
2.1. Effet photoélectrique	17
2.1.1. Résultats expérimentaux	17
2.1.2. Théorie quantique d'Einstein	20
2.2. Le photon	21
2.3. Effet Compton	23
3. <i>Caractère ondulatoire de la matière</i>	27
3.1. Diffraction des particules matérielles	27
3.2. Relation de L. de Broglie	29
3.3. Vérification expérimentale	31
3.4. Principe d'incertitude de Heisenberg	34
3.4.1. Paquets d'ondes	34
3.4.2. Interprétation de l'expérience des trous d'Young	37
4. <i>Formulation de la mécanique quantique des particules</i>	39
4.1. Cinématique d'un paquet d'onde	39
4.2. Equation fondamentale de la dynamique quantique	41
4.2.1. Equation de Schrödinger pour une particule libre	41
4.2.2. Particule dans un potentiel scalaire	42
4.3. Interprétation statistique des fonctions d'onde	43
4.3.1. Probabilité de présence d'une particule	43

TABLE

4.3.2. Valeur moyenne d'une grandeur physique	44
4.3.3. Théorème d'Ehrenfest	45
4.4. Equation de Schrödinger indépendante du temps	47
5. <i>Potentiels carrés</i>	48
5.1. Formulation du problème	48
5.2. Barrière de potentiel	50
5.3. Puits de potentiel carré infini	54
5.4. Puits de potentiel fini	58
5.5. Nature des états de mouvement d'une particule	63

II. STRUCTURE DES ATOMES ET DES NOYAUX

1. <i>L'atome de Rutherford</i>	65
1.1. Les modèles d'atome	65
1.2. Théorie de la diffusion des particules α par les atomes	67
1.2.1. Théorie classique des collisions	67
1.2.2. Distribution angulaire des particules diffusées	69
1.2.3. Distance d'approche de la particule α	71
2. <i>Etats quantifiés d'un atome</i>	73
2.1. Description quantique d'un atome	74
2.2. Quantification des niveaux d'énergie	75
2.2.1. Expérience de Franck et Hertz	75
2.2.2. Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène	76
2.2.3. Résonance optique	79
2.3. Quantification du moment cinétique orbital	81
2.3.1. Moment magnétique orbital de l'électron	81
2.3.2. Précession de Larmor	83
2.3.3. Expérience de Stern et Gerlach	86
2.3.4. Résultats de la théorie quantique du moment cinétique	87
2.4. Spin de l'électron	88
2.4.1. Moments cinétique et magnétique de spin	88
2.4.2. Nature physique du spin	89
2.4.3. Principe d'exclusion de Pauli	90
3. <i>Notions sur la constitution des noyaux atomiques</i>	91
3.1. Bref bilan de la question	91
3.2. Masse des noyaux	93
3.2.1. Spectrographie de masse	93
3.2.2. Isotopes	97
3.3. Systématique des noyaux stables	99
3.4. Energie de liaison	103
3.5. Modèle nucléaire de la goutte liquide	105

4. Réactions nucléaires	109
4.1. Radioactivité naturelle	109
4.2. Propriétés générales des réactions nucléaires	111
4.2.1. Lois de conservation	111
4.2.2. Spectre d'énergie des particules émises	112
4.2.3. Résonances	
4.3. Réactions de fission	114
4.3.1. Oscillations collectives du noyau	114
4.3.2. Fission naturelle	116
4.3.3. Fission induite par les neutrons	116
4.3.4. Réacteurs nucléaires	117
4.4. Réactions de fusion	119

III. MÉCANIQUE DES SYSTÈMES DE N PARTICULES

1. Introduction	121
2. Etat d'équilibre et fluctuations	123
2.1. Répartition aléatoire de particules dans une boîte	123
2.2. Notion d'état macroscopique	126
2.3. Evolution irréversible d'un système macroscopique	129
2.4. Valeurs moyennes	132
2.4.1. Moyenne temporelle	132
2.4.2. Moyenne sur un ensemble	134
3. Théorie cinétique des gaz	135
3.1. Le gaz parfait	135
3.2. Energie d'un gaz parfait	138
3.2.1. Energie totale et énergie moyenne	138
3.2.2. Théorème de l'équipartition de l'énergie	139
3.2.3. Définition de la température cinétique	141
3.3. Pression d'un gaz parfait	142
3.3.1. Choc d'une molécule sur une paroi	142
3.3.2. Chocs d'un jet monocinétique de particules	143
3.3.3. Chocs avec une distribution isotope des vitesses	144
3.4. Equation d'état	146
3.4.1. Equation d'état d'un gaz parfait	146
3.4.2. Mélange de gaz parfaits	147
3.4.3. Gaz réels	148
3.5. Effet de la gravité sur un gaz	150

IV. ÉCHANGES D'ÉNERGIE

1. <i>Température absolue</i>	153
1.1. Mélange de gaz parfaits hors d'équilibre	153
1.2. Définition de la température absolue	156
1.3. Echelles de température	157
1.3.1. Echelle de température Kelvin	157
1.3.2. Echelle de température Celsius	158
1.3.3. Echelle internationale	158
1.3.4. Thermomètres courants	159
2. <i>Quantité de chaleur</i>	160
2.1. Définition de la quantité de chaleur	160
2.2. Unité de quantité de chaleur	161
2.3. Chaleur spécifique	163
2.3.1. Principe des mesures calorimétriques	163
2.3.2. Chaleur spécifique des solides	164
2.3.3. Chaleur spécifique des gaz	166
2.4. Chaleur latente de changement de phase	167
3. <i>Premier principe de la thermodynamique</i>	169
3.1. Travail	169
3.2. Equivalence du travail et de la chaleur	173
3.3. Énergie interne	175
3.4. Exemple d'application du premier principe: détente de Joule-Kelvin	177
3.5. Chaleur spécifique des gaz	178
3.5.1. Chaleurs spécifiques à volume et à pression constants	178
3.5.2. Transformation adiabatique réversible	179
4. <i>Second principe de la thermodynamique</i>	182
4.1. Échanges d'énergie réversibles et irréversibles	182
4.2. Principe de Carnot	185
4.3. Rendement du cycle ditherme	186
4.3.1. Définition du rendement	186
4.3.2. Théorème de Carnot	188
4.3.3. Rendement maximum de Carnot	190
4.3.4. Exemple d'application: réfrigérateur	192
4.4. Entropie	193
4.4.1. Généralisation du second principe à un nombre quelconque de sources	193
4.4.2. Définition classique de l'entropie	196
4.4.3. Entropie d'un gaz parfait	197
4.5. Effet de l'irréversibilité	198
4.6. Potentiel thermodynamique	200

5. <i>Changements de phase</i>	201
5.1. Diagrammes d'équilibre	201
5.2. Chaleur latente de changement de phase	204
5.3. Relation de Clapeyron	204

V. THERMODYNAMIQUE STATISTIQUE

1. <i>Éléments de mécanique statistique</i>	209
1.1. Distribution la plus probable de N systèmes identiques	209
1.2. Définition statistique de la température	213
1.3. Distribution de Boltzmann	217
1.4. Travail et chaleur	220
1.5. Définition statistique de l'entropie	222
2. <i>Approximation classique de la mécanique statistique</i>	225
2.1. Nature de l'approximation	225
2.2. Conditions de validité de l'approximation classique	228
2.3. Distribution de Maxwell pour un gaz parfait	231
2.4. Théorème de l'équipartition de l'énergie	233
2.5. Chaleur spécifique des solides	235
2.6. Chaleur spécifique des gaz polyatomiques	238

ANNEXES MATHÉMATIQUES

1. Analyse combinatoire	241
2. Formule de Stirling	243
3. Distribution de Gauss	246
4. Intégrales définies	249
5. Méthode des multiplicateurs de Lagrange	250
TABLE DES CONSTANTES	253
INDEX	255