

# TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

## ÉLECTRONIQUE 1

# Physique pour l'électronique

Corpuscules, ondes, états quantiques,  
mécanique statistique, structures cristallines

Alain DEVILLE

Danielle DEVILLE

ellipses



# Table des matières

|  |            |
|--|------------|
| <b>Préliminaires aux chapitres 1 à 4</b>                                       | <b>8</b>   |
| <b>Ch.1 Corpuscules et mécanique newtonienne</b>                               | <b>11</b>  |
| 1 Mouvement conservatif ou dissipatif d'un corpuscule                          | 11         |
| 2 Vibrations d'un système de masses ponctuelles                                | 15         |
| 3 Points de vue de Lagrange et de Hamilton                                     | 18         |
| 4 Limites de la mécanique newtonienne  | 25         |
| <b>Ch.2 Ondes en physique classique</b>  | <b>31</b>  |
| 1 Ondes élastiques longitudinales sur une barre rigide.                        | 31         |
| 2 Ondes électromagnétiques: approximation scalaire                             | 40         |
| 3 Dispersion et vitesse de groupe; vitesse d'énergie.                          | 51         |
| 4 Limites de la description par ondes  | 64         |
| <b>Ch.3 Fonction d'onde. Etat quantique</b>                                    | <b>68</b>  |
| 1 Insuffisance du point de vue classique                                       | 68         |
| 2 Description par fonction d'onde (représentation position)                    | 76         |
| 3 Premières idées sur le moment cinétique                                      | 89         |
| 4 Etat quantique. Notation de Dirac  | 91         |
| <b>Ch.4 Quelques systèmes quantiques importants</b>                            | <b>100</b> |
| 1 Etats liés, états non liés   | 100        |
| 2 Particule sans spin en potentiel 1D: quelques propriétés dans les états liés | 101        |
| 3 Effet tunnel   | 103        |
| 4 Oscillateur harmonique 1D  | 105        |
| 5 Particule dans un puits 2D ou 3D (fond plat, hauteur infinie)                | 108        |
| 6 Particule avec énergie potentielle centrale. Moment cinétique                | 109        |
| <b>Mécanique statistique: présentation</b>                                     | <b>116</b> |
| 1 Système à grand nombre d'objets microscopiques: quelle description?          | 116        |
| <b>Ch.5 Thermodynamique: postulats, potentiels thermodynamiques</b>            | <b>119</b> |
| 1 L'énergie d'un système isolé se conserve                                     | 119        |
| 2 La démarche. L'énergie interne. Les postulats                                | 121        |
| 3 Potentiel thermodynamique  | 131        |
| 4 Fonction caractéristique. Coefficients thermodynamiques                      | 134        |
| 5 Généralisation: matériau magnétique  | 138        |
| 6 Entropie de mixage   | 140        |

**Ch.6 Mécanique statistique classique: quelques résultats**

- 1 Généralités
- 2 Espace des phases. Ensemble de Gibbs. Loi de Gibbs
- 3 Cas particulier important: statistique de Boltzmann
- 4 Théorème d'équipartition de l'énergie
- 5 Exemples d'utilisation de la loi de Gibbs
- 6 Entropie statistique
- 7 Les difficultés de la statistique classique

**Ch.7 Mélange statistique**

- 1 Distinction état pur/mélange
- 2 L'opérateur densité
- 3 Origine physique de l'existence des mélanges
- 4 Trace partielle
- 5 Entropie d'un mélange
- 6 Justification de l'expression donnant la valeur moyenne pour un mélange
- 7 Résumé

**Ch.8 Mécanique statistique quantique: principes généraux**

- 1 Postulats généraux
- 2 Lien avec la thermodynamique
- 3 Système de particules identiques, non couplées, à T
- 4 Résumé

**Ch.9 Propriétés statistiques d'atomes ou d'électrons libres**

- 1 Idées générales
- 2 Etude du G.P. monoatomique
- 3 Etude du gaz des e.c. du métal
- 4 Quelques précisions finales

**Ch.10 Transport dans les systèmes proches de l'équilibre**

- 1 Description élémentaire des phénomènes
- 2 Point de vue microscopique
- 3 Thermodynamique irréversible linéaire

**Ch.11 Structures cristallines.**

- 1 Classification des cristaux.
- 2 Symétries microscopique et macroscopique des cristaux.
- 3 Réseau réciproque.
- 4 Diffraction par les cristaux.

141  
141  
142  
144  
145  
147  
149  
150  
156  
156  
157  
160  
164  
165  
67  
68  
69  
69  
71  
75  
91  
92  
93  
95  
99  
11  
16  
17  
34  
42  
54  
55  
53  
56  
0

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>A1</b> | <b>Deux précisions de calcul linéaire.</b>                                | <b>277</b> |
| 1         | Opérateurs vectoriels différentiels.                                      | 277        |
| 2         | Tenseur, tenseur d'ordre deux.  | 282        |
| <b>A2</b> | <b>Fonctions de carré sommable</b>  | <b>284</b> |
| 1         | L'espace $\mathcal{L}_2$  | 286        |
| 2         | Transformée de Fourier dans $\mathcal{L}_2$ .                             | 288        |
| 3         | Inégalités de Fourier.  | 290        |
| <b>A3</b> | <b>Précisions de physique quantique</b>                                   | <b>292</b> |
| 1         | Inégalités de Heisenberg  | 292        |
| 2         | Précisions sur le moment cinétique  | 292        |
| 3         | Fonctions électroniques radiales de l'atome d'hydrogène.                  | 295        |
| 4         | Fonctions propres de l'oscillateur harmonique 1D ( $n \leq 4$ ).          | 296        |
| <b>A4</b> | <b>La loi de Gibbs</b>  | <b>297</b> |
| 1         | Système isolé et postulat d'équiprobabilité                               | 297        |
| 2         | Un argument pour la loi de Gibbs  | 298        |
| <b>A5</b> | <b>Examen d'équations aux dérivées partielles</b>                         | <b>300</b> |
| 1         | Solution de l'équation de la diffusion en milieu 1D infini ou semi-infini | 300        |
| 2         | Propriétés des solutions de l'équation de Laplace                         | 304        |
|           | <b>Références</b>   | <b>305</b> |
|           | <b>Index</b>  | <b>308</b> |



La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chèze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau **A Approche** (éléments, résumés ou travaux dirigés) *Initiation, mise à niveau*

Niveau **B Bases** (cours avec exercices et problèmes résolus) *IUP - IUT - BTS*

Niveau **C Compléments** (approfondissement, spécialisation) *Écoles d'ingénieurs, Maîtrise*

*L'ouvrage : niveau B (Licence)*

L'ouvrage présente les méthodes de la physique avec lesquelles il est souhaitable de se familiariser pour aborder l'analyse des dispositifs électroniques qui sont au cœur de la révolution industrielle en cours.

Dans une première partie sont d'abord mis en œuvre les deux concepts fondamentaux de la physique classique (corpuscule et onde). Puis est présentée et illustrée par de nombreux exemples la notion d'état quantique, indispensable pour décrire les phénomènes rebelles à une description classique.

L'énoncé et l'utilisation des principes de la mécanique statistique forment le cœur de la deuxième partie, l'accent étant mis sur le point de vue quantique.

Une dernière partie est consacrée aux structures cristallines.

Pour faciliter la lecture, certains développements mathématiques ont été reportés dans cinq annexes.

L'ouvrage constitue une base solide sur laquelle s'appuient deux autres ouvrages des mêmes auteurs parus dans la même collection et traitant

- des principes, de la modélisation et de la fabrication des composants électroniques,
- des circuits et des applications.

*Les auteurs :*

*Alain Deville, agrégé de physique, est Professeur émérite de l'Université de Provence où il a participé à la création et au développement de la filière électronique.*

*Danielle Deville, agrégée de physique appliquée a été professeur en classes préparatoires au lycée Jean Perrin à Marseille après avoir enseigné en BTS d'électrotechnique.*

*Illustration de couverture : Dessin de Léonard de Vinci.*



ISBN 2-7298-2317-4