

TABLE DES MATIÈRES

Avant-Propos	1
CHAPITRE PREMIER. — Notions générales. Ondes. Signaux. Systèmes linéaires	1
1. 1. <i>Propriétés générales des ondes</i>	1
1. 1. 1. Expression d'une onde plane progressive	2
1. 1. 2. Réflexion d'une onde plane progressive	6
1. 1. 2. 1. Incidence normale. Onde stationnaire	6
1. 1. 2. 2. Incidence oblique. Onde guidée	9
1. 1. 3. Vitesse d'un groupe d'ondes	13
1. 2. <i>Propagation des ondes élastiques</i>	15
1. 2. 1. Milieu continu. Aspect macroscopique	15
1. 2. 2. Chaîne d'atomes. Aspect microscopique	18
1. 3. <i>Signaux. Systèmes linéaires et invariants dans le temps</i>	22
1. 3. 1. Signaux réels et signaux fictifs. Impulsion de Dirac	22
1. 3. 2. Spectre d'un signal. Transformation de Fourier	25
1. 3. 3. Réponse en fréquence d'un système linéaire et invariant dans le temps	33
1. 3. 4. Réponse impulsionnelle	34
1. 3. 5. Réponse à un signal quelconque	36
1. 3. 6. Correspondance entre le spectre d'un signal et le diagramme de rayonnement d'une source	37
<i>Bibliographie</i>	40
EXERCICES	40
CHAPITRE 2. — Éléments de cristallographie	46
2. 1. <i>Définition de l'état cristallin</i>	46
2. 2. <i>Structure cristalline</i>	48
2. 2. 1. Périodicité du milieu cristallin. Réseau. Rangées. Plans réticulaires. Mailles	48
2. 2. 2. Structure atomique. Le motif	52
2. 3. <i>Symétrie d'orientation des cristaux</i>	53
2. 3. 1. Les opérations de symétrie ponctuelle	54
2. 3. 1. 1. Définitions	54
2. 3. 1. 2. Projection stéréographique	55
2. 3. 1. 3. Relations d'équivalence	56
2. 3. 2. Symétrie ponctuelle des réseaux	59
2. 3. 2. 1. Éléments de symétrie des réseaux	59
2. 3. 2. 2. Les 7 systèmes cristallins	61
2. 3. 2. 3. Les 14 réseaux de Bravais	63
2. 3. 3. Dénombrement des classes de symétrie ponctuelle des cristaux	66

2. 4. Symétrie de recouvrement	69
2. 4. 1. Axes hélicoïdaux	69
2. 4. 2. Plan de symétrie avec glissement	70
2. 4. 3. Groupes de recouvrement	71
2. 5. Exemples de structure	71
2. 5. 1. Assemblages compacts	71
2. 5. 2. Structure de quelques matériaux utiles	72
Références	76
Bibliographie	77
EXERCICES	77
CHAPITRE 3. — Traduction des propriétés physiques des cristaux par des tenseurs	80
3. 1. Relation entre cause et effet dans un cristal	81
3. 2. Changement d'axes de référence orthonormés	82
3. 3. Définition d'un tenseur	84
3. 4. Restrictions imposées par les éléments de symétrie des cristaux au nombre de composantes indépendantes des tenseurs	86
3. 4. 1. Matrices des opérations de symétrie ponctuelle des cristaux	87
3. 4. 2. Influence d'un centre de symétrie	88
3. 4. 3. Réduction du nombre de constantes diélectriques indépendantes	89
3. 5. Vecteurs propres et valeurs propres d'un tenseur de rang deux	91
3. 6. Représentation tensorielle des éléments de surface	95
Bibliographie	96
EXERCICES	96
CHAPITRE 4. — Élasticité statique	98
4. 1. Déformations	98
4. 2. Contraintes	103
4. 2. 1. Définition du tenseur des contraintes	103
4. 2. 2. Conditions d'équilibre	105
4. 3. Relation entre contraintes et déformations. Constantes élastiques	107
4. 4. Énergie élastique d'un corps déformé. Relations de Maxwell	110
4. 5. Restrictions imposées par la symétrie des cristaux au nombre de modules élastiques indépendants	113
4. 5. 1. Solide isotrope	113
4. 5. 2. Cristaux	115
Références du tableau des constantes élastiques	124
Bibliographie	124
EXERCICES	125
CHAPITRE 5. — Élasticité dynamique	127
5. 1. Ondes élastiques dans un cristal illimité	131
5. 1. 1. Équation de propagation	131
5. 1. 2. Propriétés générales des ondes élastiques planes	133
5. 1. 3. Propagation suivant des directions liées aux éléments de symétrie	135
5. 1. 4. Ondes élastiques dans un milieu isotrope	137
5. 1. 5. Flux d'énergie élastique	139
5. 1. 5. 1. Vecteur de Poynting	139

TABLE DES MATIÈRES

XI

5. 1. 5. 2. Vitesse d'énergie d'une onde élastique plane	141
5. 1. 6. Surfaces caractéristiques	146
5. 1. 6. 1. Définitions et propriétés	146
5. 1. 6. 2. Exemples de surface des lenteurs	148
5. 2. <i>Réflexion et réfraction des ondes élastiques planes</i>	166
5. 2. 1. Équations de continuité	166
5. 2. 2. Exemple : onde incidente transversale horizontale	170
5. 2. 3. Réflexion sur une surface libre	173
5. 2. 4. Ondes de Love	176
5. 3. <i>Ondes élastiques de surface. Ondes de Rayleigh</i>	181
5. 3. 1. Milieu isotrope	183
5. 3. 2. Milieu anisotrope	189
<i>Références</i>	197
<i>Bibliographie</i>	197
EXERCICES	198
CHAPITRE 6. — Piézoélectricité	202
6. 1. <i>Phénomènes statiques</i>	202
6. 1. 1. Principes de symétrie de Curie. Application à la piézoélectricité ..	202
6. 1. 2. Mécanisme physique. Modèle unidimensionnel	204
6. 1. 3. Expressions tensorielles de la piézoélectricité	208
6. 1. 4. Restrictions imposées par la symétrie des cristaux au nombre de constantes piézoélectriques indépendantes	212
6. 2. <i>Ondes élastiques dans un solide piézoélectrique</i>	221
6. 2. 1. Milieu illimité : ondes de volume	222
6. 2. 1. 1. Équations de propagation. Tenseur de Christoffel	222
6. 2. 1. 2. Exemples de courbes de lenteurs de cristaux piézoélectriques	224
6. 2. 1. 3. Propagation suivant des directions liées aux éléments de symétrie	228
6. 2. 2. Ondes de surface	230
6. 2. 2. 1. Méthode de recherche des ondes de surface	230
6. 2. 2. 2. Considérations de symétrie	233
6. 2. 2. 3. Onde de Bleustein-Gulyaev	235
6. 2. 2. 4. Influence des conditions aux limites électriques	239
6. 2. 2. 5. Résultats pour quelques matériaux	242
<i>Références</i>	246
<i>Bibliographie</i>	247
EXERCICES	247
CHAPITRE 7. — Génération et détection des ondes élastiques	250
7. 1. <i>Transducteur piézoélectrique pour ondes de volume</i>	250
7. 1. 1. Calcul direct de la puissance élastique	251
7. 1. 1. 1. Conditions de validité d'un modèle unidimensionnel	251
7. 1. 1. 2. Mise en équation	252
7. 1. 1. 3. Structure cristal piézoélectrique-milieu de propagation ..	255
7. 1. 1. 4. Structure cristal piézoélectrique-électrode-milieu de propagation	258
7. 1. 1. 5. Adaptation électrique. Perte de conversion	264

7. 1. 2. Schéma équivalent	266
7. 1. 3. Coefficient de couplage électromécanique	271
7. 1. 4. Technologie	272
7. 2. <i>Transducteur à électrodes interdigitées pour ondes de surface (Rayleigh)</i> ...	274
7. 2. 1. Principe de fonctionnement	275
7. 2. 2. Distribution du champ électrique	278
7. 2. 3. Ondes élastiques émises	283
7. 2. 3. 1. Résolution de l'équation de propagation	283
7. 2. 3. 2. Ondes de volume	287
7. 2. 3. 3. Ondes de Rayleigh	289
7. 2. 4. Méthode des sources discrètes	291
7. 2. 5. Schéma électrique équivalent	298
7. 2. 6. Technologie	299
<i>Références</i>	301
<i>Bibliographie</i>	302
EXERCICES	303
CHAPITRE 8. — Interaction entre ondes élastiques et ondes lumineuses	308
8. 1. <i>Principaux cas d'interaction</i>	310
8. 2. <i>Propagation des ondes lumineuses dans les cristaux</i>	310
8. 2. 1. Ellipsoïde des indices	311
8. 2. 2. Surface des indices	313
8. 3. <i>Le tenseur élasto-optique</i>	314
8. 4. <i>Diffraction des ondes lumineuses par un faisceau d'ondes élastiques</i>	319
8. 4. 1. Incidence normale	319
8. 4. 2. Incidence à l'angle de Bragg	324
8. 4. 2. 1. Angle d'incidence	324
8. 4. 2. 2. Intensité du faisceau dévié. Facteur de mérite	325
8. 4. 2. 3. Bande passante de l'interaction	328
8. 4. 2. 4. Nombre de directions distinctes	330
8. 4. 2. 5. Diagramme des vecteurs d'onde. Changement de polarisation	331
8. 5. <i>Interaction ondes lumineuses-ondes élastiques de surface</i>	335
<i>Références</i>	336
<i>Bibliographie</i>	336
EXERCICES	337
CHAPITRE 9. — Applications : traitement d'un signal électrique	340
9. 1. <i>Structure générale d'une ligne à ondes élastiques</i>	341
9. 1. 1. Conversion du signal électrique en onde élastique	342
9. 1. 2. Propagation de l'onde élastique	342
9. 1. 3. Interaction de l'onde élastique avec une onde extérieure	343
9. 1. 4. Conversion en signal électrique de l'onde résultant de l'interaction	344
9. 2. <i>Fonction retard</i>	344
9. 2. 1. Lignes à ondes de volume	344
9. 2. 1. 1. Structure	345
9. 2. 1. 2. Exemples de caractéristiques	346
9. 2. 2. Lignes à ondes de Rayleigh	348
9. 2. 3. Ligne à retard variable à interaction élasto-optique	349

TABLE DES MATIÈRES

XIII

9. 3. <i>Fonction compression d'impulsion</i>	350
9. 3. 1. <i>Filtre adapté à un signal</i>	351
9. 3. 2. <i>Signal modulé linéairement en fréquence</i>	353
9. 3. 2. 1. <i>Impulsion comprimée</i>	353
9. 3. 2. 2. <i>Spectre du signal. Réponse en fréquence du filtre adapté</i> .	355
9. 3. 3. <i>Lignes dispersives à ondes élastiques de volume</i>	360
9. 3. 4. <i>Lignes dispersives à ondes de Love</i>	363
9. 3. 5. <i>Filtres adaptés à ondes de Rayleigh</i>	364
9. 3. 5. 1. <i>Lignes dispersives pour signal modulé en fréquence</i> ...	365
9. 3. 5. 2. <i>Filtres transversaux</i>	372
9. 3. 6. <i>Filtres adaptés à interaction élasto-optique</i>	375
9. 4. <i>Fonction filtre de bande</i>	377
9. 5. <i>Fonction mémoire</i>	383
9. 6. <i>Fonction convolution</i>	386
9. 7. <i>Coupleur à réseau à ondes de surface</i>	388
9. 8. <i>Défecteur et modulateur de lumière à ondes élastiques</i>	391
<i>Références</i>	394
<i>Bibliographie</i>	396
EXERCICES	397
Bibliographie générale	400
Index alphabétique	401
