

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I RELATIVITÉ RESTREINTE .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Expérience de Michelson-Morley .....</b>	<b>9</b>
2.1. L'éther .....	9
2.2. Le nageur de Michelson .....	10
2.3. Interféromètre de Michelson .....	12
2.4. Contraction et dilatation .....	14
<b>3. Postulats .....</b>	<b>17</b>
3.1. Principe de relativité .....	17
3.2. Principe d'invariance.....	17
3.3. Autres postulats .....	18
<b>4. Transformation de Lorentz.....</b>	<b>21</b>
4.1. Démonstration .....	21
4.2. Temps et longueurs .....	26
4.3. Composition des vitesses .....	29

4.4. Transformation des accélérations.....	31
4.5. Opérateurs différentiels .....	35
4.6. Equations des ondes .....	37
4.7. Effet Doppler longitudinal.....	40
4.8. Aberration relativiste.....	42
4.9. Espace-temps de Minkowski.....	44
4.10. Lagrangiens relativistes.....	50
<b>5. Dynamique relativiste .....</b>	<b>55</b>
5.1. Introduction .....	55
5.2. Masse relativiste .....	55
5.3. Loi de Newton relativiste .....	56
5.4. Energie cinétique.....	58
5.5. $E = mc^2$ .....	59
5.6. Energie potentielle.....	61
5.7. Accélération des électrons.....	62
5.8. Lagrangien relativiste « à la Landau » .....	64
5.9. Antimatière.....	66
<b>6. Conclusion sur la relativité restreinte .....</b>	<b>68</b>
<b>CHAPITRE II RELATIVITÉ GÉNÉRALE .....</b>	<b>69</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>71</b>
<b>2. Généralités.....</b>	<b>75</b>
2.1. Postulats.....	75
2.2. Géométrie riemannienne .....	78
2.3. Géodésiques.....	95
<b>3. Limite newtonienne .....</b>	<b>101</b>
3.1. Chute libre d'un photon.....	101
3.2. Equations de Lagrange .....	108
3.3. Calcul des variations .....	110
3.4. Transformation du lagrangien en métrique .....	112
3.5. Mouvement rectiligne.....	116

<b>4. Métrique de Schwarzschild .....</b>	<b>121</b>
4.1. Equation du déterminant .....	121
4.2. Géométrie de Schwarzschild.....	126
4.3. Chute radiale .....	129
4.4. Trous noirs.....	134
<b>5. Equations d'Einstein .....</b>	<b>137</b>
5.1. Introduction .....	137
5.2. Deux dimensions .....	138
5.3. Quatre dimensions $t, r, \vartheta, \varphi$ .....	143
5.4. Solution de Schwarzschild .....	146
<b>6. Conclusion sur la relativité générale .....</b>	<b>153</b>
<b>CHAPITRE III MÉCANIQUE QUANTIQUE .....</b>	<b>155</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>157</b>
<b>2. Postulats .....</b>	<b>159</b>
2.1. Principe de Complémentarité.....	159
2.2. Principe d'incertitude .....	159
2.3. Principe de superposition .....	159
2.4. Principe de correspondance.....	160
2.5. Principe d'exclusion.....	160
<b>3. Vibrations.....</b>	<b>161</b>
3.1. Cordes vibrantes.....	161
3.2. Membrane carrée.....	162
3.3. Membrane circulaire .....	165
3.4. Cavité sphérique.....	166
<b>4. Corps noir .....</b>	<b>173</b>
4.1. Rayonnement thermique .....	173
4.2. Formule de Rayleigh-Jeans .....	173
4.3. Formule de Wien.....	175
4.4. Formule de Planck.....	175
4.5. Statistique de Bose-Einstein.....	177

4.6. Obtention de la formule de Planck.....	180
<b>5. Ondes de matière.....</b>	<b>181</b>
5.1. Masse et vibration .....	181
5.2. Longueur d'onde de de Broglie.....	182
5.3. Relation d'Heisenberg.....	183
5.4. Dualité onde-corpuscule.....	184
5.5. Équation des ondes de matière .....	185
<b>6. Atomes .....</b>	<b>191</b>
6.1. Théorie de Bohr.....	191
6.2. Théorie de de Broglie .....	194
6.3. Théorie de Schrödinger .....	194
6.4. Classification périodique.....	197
<b>7. Conclusion sur la mécanique quantique .....</b>	<b>203</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>205</b>
<b>ANNEXE - CALCUL DU TENSEUR DE RIEMANN.....</b>	<b>207</b>
Courbure de Gauss .....	207
Tenseur de Riemann.....	217
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>221</b>
Relativité restreinte.....	221
Relativité générale .....	221
Mécanique quantique .....	222
<b>WEBOGRAPHIE .....</b>	<b>225</b>
Sites bibliographiques .....	225
Relativité restreinte.....	225
Relativité générale .....	226
Mécanique quantique .....	226
<b>INDEX ALPHABETIQUE.....</b>	<b>229</b>





# INTRODUCTION

Ce livre est destiné aux ingénieurs ou chercheurs, professeurs ou étudiants, physiciens ou chimistes qui veulent comprendre la physique du XX<sup>e</sup> siècle, obtention des équations comprise, sans perdre de vue son origine expérimentale et, dans la mesure du possible, de façon élémentaire. Il devrait combler le fossé entre ouvrages de vulgarisation et spécialisés.

D'une façon générale, j'ai recherché systématiquement dans la littérature des démonstrations concises. J'ai essayé d'être logique et rigoureux, d'énoncer clairement les hypothèses et les approximations faites, de ne garder que l'essentiel, condensé dans deux cents pages.

J'utilise au maximum les hypothèses simplificatrices, soit pour montrer le principe d'un calcul, soit pour coller à la réalité. Il est par exemple ridicule d'utiliser des tenseurs à 256 coefficients presque tous nuls alors que six suffisent. Les symboles mathématiques et les mots savants sont réduits au minimum. Avec des démonstrations simplifiées, j'évite les renvois à des références bibliographiques et les « on montre facilement que... », frustrants pour le lecteur, le mot « facilement » étant généralement de trop. Les équations ne sont pas numérotées, elles sont répétées lors de leur utilisation.

La méthode cartésienne consiste « à commencer par les objets les plus simples » plutôt que de procéder du général au particulier, par exemple avec des équations à une ou deux dimensions, quitte à généraliser ensuite. La confrontation théorie-

expérience est la plus sûre sur des configurations simples. J'ai tout repris à partir des hypothèses de base à l'aide du « doute méthodique ». J'ai évité l'irrationnel et l'ésotérisme de façon à bien séparer la science de la fiction.

Un calcul à partir d'hypothèses simplificatrices est toujours plus sûr qu'un raisonnement : un syllogisme se transforme facilement en sophisme. La physique est trop souvent présentée sous forme d'affirmations gratuites ou de formules parachutées, avec mots et variables non définis. Il est impossible, contrairement à ce que croient les vulgarisateurs, de comprendre les formules de la physique sans leur démonstration. Apprendre n'est pas comprendre. De même que les expériences décrites avec force détails, mais sans l'essentiel, les calculs non vérifiables sont douteux. Ici, les calculs sont détaillés pour que le lecteur puisse les vérifier lui-même, sans risquer d'être bloqué par une difficulté et avec le pouvoir de rectifier en cas d'erreur ou d'oubli de ma part...

Chacune des trois théories est résumée par un organigramme avec les hypothèses et les formules essentielles de sorte que, sur une page, on a une vue synthétique de la théorie, sans les démonstrations, mais avec l'enchaînement logique.

La relativité restreinte est présentée dans l'esprit de la mécanique rationnelle, où la transformation de Lorentz remplace celle de Galilée. Le reste de la relativité restreinte s'en déduit ensuite mathématiquement. En lui adjoignant les lois de Newton, on obtient la dynamique relativiste et la formule  $E = mc^2$ .

La relativité restreinte devient générale (relativement, si j'ose dire, car elle ne s'applique pas actuellement à l'électromagnétisme, au contraire de la relativité restreinte) avec une vitesse de la lumière variable dans le champ de gravitation. On obtient le même résultat avec le principe du plus court chemin dans l'espace-temps courbe à partir de la mécanique newtonienne. Cependant, ce n'est qu'avec l'application de la géométrie de Riemann que les prévisions de la relativité ont été en accord avec l'observation. Il est possible d'établir l'équation d'Einstein  $R_{ik} = 0$  de façon presque élémentaire en se limitant à deux dimensions, en coordonnées de Riemann. On obtient alors une surface de courbure de Gauss nulle, c'est-à-dire une surface analogue à une feuille de papier courbée. Pour obtenir la métrique de Schwarzschild à partir des équations d'Einstein, il est toutefois nécessaire de passer en coordonnées sphériques à quatre dimensions, ce qui nécessite des calculs compliqués et rarement développés, même dans les ouvrages de haut niveau. Je n'ai malheureusement pas réussi à écrire en radial les équations d'Einstein comme on le fait pour l'équation de Laplace (avis aux mathématiciens).

L'équation de Schrödinger est l'application de l'équation des ondes de d'Alembert à l'onde pilote de de Broglie, elle même conséquence de la transformation de Lorentz et de la formule des quanta d'Einstein-Planck  $E = mc^2 = hv$ . J'ai utilisé une méthode qui évite le calcul des harmoniques sphériques grâce à des considérations de symétrie appliquées au résonateur sphérique. Ce principe s'applique aux vibrations

acoustiques du Soleil, électromagnétiques du corps noir, aux ondes de de Broglie de l'atome...

Le lecteur peut commencer la lecture par les points qui l'intéressent, les différents paragraphes étant relativement indépendants.

