

# Interpréter la Physique Quantique

Cours d'interprétation de la théorie quantique des champs

Sébastien Fauvel



# Remerciements



# Avant-propos



# Table des matières

|           |  |          |
|-----------|--|----------|
| <b>I</b>  | <b>Préliminaires épistémologiques</b>                    | <b>1</b> |
| <b>1</b>  | <b>Qu'est-ce qu'interpréter ?</b>                        | <b>2</b> |
| 1.1       | Interpréter des observations . . . . .                   | 2        |
| 1.2       | Interpréter une théorie effective . . . . .              | 2        |
| 1.3       | Interpréter une théorie fondamentale . . . . .           | 2        |
| <b>2</b>  | <b>Que puis-je connaître ?</b>                           | <b>3</b> |
| 2.1       | L'impasse solipsiste . . . . .                           | 3        |
| 2.2       | L'objectivisme fondateur . . . . .                       | 3        |
| 2.3       | La connaissance dans un monde aléatoire . . . . .        | 3        |
| <b>II</b> | <b>Modéliser le monde matériel</b>                       | <b>5</b> |
| <b>3</b>  | <b>Régulariser la théorie quantique des champs</b>       | <b>6</b> |
| 3.1       | Inexistence d'une théorie quantique des champs . . . . . | 6        |
| 3.2       | Régularisation physique maximale . . . . .               | 6        |
| 3.3       | L'espace physique . . . . .                              | 6        |
| <b>4</b>  | <b>L'espace des états quantiques</b>                     | <b>7</b> |
| 4.1       | Etats localisés du champ . . . . .                       | 7        |
| 4.2       | Opérateurs de création et d'annihilation . . . . .       | 7        |
| 4.3       | Ondes planes . . . . .                                   | 7        |
| <b>5</b>  | <b>Interactions physiques</b>                            | <b>8</b> |
| 5.1       | Evolution hamiltonienne . . . . .                        | 8        |
| 5.2       | Représentation d'interaction . . . . .                   | 8        |
| 5.3       | Développement perturbatif . . . . .                      | 8        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>III</b> | <b>Modéliser le monde mental</b>                           | <b>9</b>  |
| <b>6</b>   | <b>L'expérience subjective</b>                             | <b>10</b> |
| 6.1        | Conscience déclarative . . . . .                           | 10        |
| 6.2        | Subconscient . . . . .                                     | 10        |
| 6.3        | Expérience subjective . . . . .                            | 10        |
| <b>7</b>   | <b>Le champ d'expériences subjectives</b>                  | <b>11</b> |
| 7.1        | Objectivation des expériences subjectives . . . . .        | 11        |
| 7.2        | Réalisation physique d'un état mental . . . . .            | 11        |
| 7.3        | Indiscernabilité des sujets . . . . .                      | 11        |
| <b>8</b>   | <b>Interactions psycho-physiques</b>                       | <b>12</b> |
| 8.1        | Dynamique stochastique . . . . .                           | 12        |
| 8.2        | Mesure quantique . . . . .                                 | 12        |
| 8.3        | Décohérence quantique . . . . .                            | 12        |
| <b>IV</b>  | <b>Applications</b>  | <b>13</b> |
| <b>9</b>   | <b>Electrodynamique quantique</b>                          | <b>14</b> |
| 9.1        | Opérateurs de charge, de courant et de potentiel . . . . . | 14        |
| 9.2        | Hamiltonien d'interaction . . . . .                        | 14        |
| 9.3        | Exemple : La section efficace de Rutherford . . . . .      | 14        |
| <b>10</b>  | <b>Théorème de réincarnation</b>                           | <b>15</b> |
| 10.1       | Un théorème de récurrence des états mentaux . . . . .      | 15        |
| 10.2       | Démonstration . . . . .                                    | 15        |
| 10.3       | Discussion . . . . .                                       | 15        |
| <b>V</b>   | <b>Appendices</b>  | <b>17</b> |
| <b>A</b>   | <b>Fonctions usuelles</b>                                  | <b>18</b> |
| A.1        | La fonction sinus cardinal . . . . .                       | 18        |
| A.2        | La fonction esinc . . . . .                                | 18        |
| A.3        | La fonction $\delta$ de Dirac . . . . .                    | 18        |
| <b>B</b>   | <b>Matrices de Dirac et de Pauli</b>                       | <b>19</b> |
| B.1        | Matrices de Pauli . . . . .                                | 19        |
| B.2        | Matrices de Dirac . . . . .                                | 19        |
| <b>C</b>   | <b>Opérateurs spinoriels</b>                               | <b>20</b> |



|     |   |    |
|-----|---|----|
| C.1 | Opérateurs de polarisation photoniques . . . . .      | 20 |
| C.2 | Opérateurs d’antisymétrisation fermioniques . . . . . | 20 |
| C.3 | Opérateurs spinoriels de Dirac . . . . .              | 20 |



Première partie

Préliminaires  
épistémologiques

# Chapitre 1

## Qu'est-ce qu'interpréter ?

1.1 Interpréter des observations

1.2 Interpréter une théorie effective

1.3 Interpréter une théorie fondamentale

## Chapitre 2

# Que puis-je connaître ?

2.1 L'impasse solipsiste

2.2 L'objectivisme fondateur

2.3 La connaissance dans un monde aléatoire



Deuxième partie

**Modéliser le monde matériel**

## Chapitre 3

# Régulariser la théorie quantique des champs

- 3.1 Inexistence d'une théorie quantique des champs
- 3.2 Régularisation physique maximale
- 3.3 L'espace physique



## Chapitre 4

# L'espace des états quantiques

4.1 Etats localisés du champ

4.2 Opérateurs de création et d'annihilation

4.3 Ondes planes

## Chapitre 5

# Interactions physiques

5.1 Evolution hamiltonienne

5.2 Représentation d'interaction

5.3 Développement perturbatif

Troisième partie

**Modéliser le monde mental**

## Chapitre 6

# L'expérience subjective

6.1 Conscience déclarative

6.2 Subconscient

6.3 Expérience subjective

## Chapitre 7

# Le champ d'expériences subjectives

- 7.1 Objectivation des expériences subjectives
- 7.2 Réalisation physique d'un état mental
- 7.3 Indiscernabilité des sujets

## Chapitre 8

# Interactions psycho-physiques

8.1 Dynamique stochastique

8.2 Mesure quantique

8.3 Décohérence quantique

Quatrième partie

Applications

## Chapitre 9

# Electrodynamique quantique

- 9.1 Opérateurs de charge, de courant et de potentiel
- 9.2 Hamiltonien d'interaction
- 9.3 Exemple : La section efficace de Rutherford



## Chapitre 10

# Théorème de réincarnation

10.1 Un théorème de récurrence des états mentaux

10.2 Démonstration

10.3 Discussion



Cinquième partie

Appendices

## Annexe A

# Fonctions usuelles

A.1 La fonction sinus cardinal

A.2 La fonction esinc

A.3 La fonction  $\delta$  de Dirac

## Annexe B

# Matrices de Dirac et de Pauli

### B.1 Matrices de Pauli

Pour décrire le spin de l'électron dans la limite non-relativiste, Wolfgang Pauli a été amené à introduire trois automorphismes de  $\mathcal{H}^2$ , notés  $\hat{\sigma}_1$ ,  $\hat{\sigma}_2$  et  $\hat{\sigma}_3$ , dont la propriété essentielle est de vérifier les relations d'anticommutation suivantes :

$$\{\hat{\sigma}_a, \hat{\sigma}_b\} := \hat{\sigma}_a \hat{\sigma}_b + \hat{\sigma}_b \hat{\sigma}_a = 2\delta_{a,b} \mathbb{1}$$

Il existe une infinité de familles d'automorphismes vérifiant ces relations algébriques, le choix de l'une d'entre-elles en particulier n'ayant aucune influence sur les prédictions de la théorie. La famille de matrices suivantes :

$$\sigma_1 := \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_2 := \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_3 := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

représente canoniquement une famille d'automorphismes de  $\mathcal{H}^2$  qui vérifie ces relations d'anticommutation. C'est pour cette convention que nous optons dans ce cours pour définir les matrices de Pauli.

### B.2 Matrices de Dirac

## Annexe C

# Opérateurs spinoriels

C.1 Opérateurs de polarisation photoniques

C.2 Opérateurs d'antisymétrisation fermioniques

C.3 Opérateurs spinoriels de Dirac

# Bibliographie