

Daniel Vázquez Lago

# Física del Plasma

Copyright © 2023 Flavio Barisi

PUBLISHED BY PUBLISHER

[TEMPLATE-WEBSITE](#)

Licensed under the Apache 2.0 License (the “License”). You may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>. Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS” BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

*First printing, July 2023*

# Índice

I

## Electrodinámica cuántica

1 Cuantización del campo electromagnético .....	7
2 Campos de Dirac y ecuación de Dirac .....	9
3 Simetría gauge U(1) .....	11
4 Interacción electrón–fotón .....	13
5 Reglas de Feynman en QED .....	15
6 Correcciones radiativas y renormalización .....	17
7 Dispersión y procesos fundamentales en QED .....	19
8 Anomalías y precisión en QED .....	21

II

## Teoría electrodébil

9 Fundamentos de teorías gauge no abelianas .....	25
10 Simetría $SU(2)_L \times U(1)_Y$ .....	27
11 Campos fermiónicos y corrientes débiles .....	29
12 Ruptura espontánea de simetría .....	31
13 Mecanismo de Higgs .....	33
14 Bosones W y Z .....	35
15 Corrientes cargadas y neutras .....	37
16 Violación de paridad y estructura quiral .....	39
17 Pruebas experimentales de la teoría electrodébil .....	41

III

## Cromodinámica cuántica

18 Carga de color y simetría $SU(3)_C$ .....	45
19 Campos de quarks y gluones .....	47
20 Estructura no abeliana de QCD .....	49
21 Confinamiento y libertad asintótica .....	51
22 Reglas de Feynman en QCD .....	53
23 Renormalización y ecuaciones del grupo de renormalización .....	55
24 Hadronización y modelos fenomenológicos .....	57
25 Estados ligados: mesones y bariones .....	59
26 QCD en redes (Lattice QCD) .....	61

<b>27 Estructura gauge del Modelo Estándar . . . . .</b>	<b>65</b>
<b>28 Contenido de partículas fundamentales . . . . .</b>	<b>67</b>
<b>29 Matriz CKM y violación CP . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>30 Masas y acoplamientos . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>31 Renormalización del Modelo Estándar . . . . .</b>	<b>73</b>
<b>32 Predicciones de precisión y observables . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>33 Neutrinos y mezcla leptónica . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>34 Limitaciones del Modelo Estándar . . . . .</b>	<b>79</b>
<b>35 Extensiones: más allá del Modelo Estándar . . . . .</b>	<b>81</b>

# I

## Electrodinámica cuántica

<b>1</b>	<b>Cuantización del campo electromagnético . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Campos de Dirac y ecuación de Dirac . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Simetría gauge U(1) . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Interacción electrón–fotón . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Reglas de Feynman en QED . . . . .</b>	<b>15</b>
	<b>Correcciones radiativas y renormalización. . . . .</b>	
<b>6</b>	<b>17</b>	
	<b>Dispersión y procesos fundamentales en</b>	
<b>7</b>	<b>QED . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Anomalías y precisión en QED . . . . .</b>	<b>21</b>



# **1. Cuantización del campo electromagnético**



## **2. Campos de Dirac y ecuación de Dirac**



### **3. Simetría gauge U(1)**



## **4. Interacción electrón–fotón**



## 5. Reglas de Feynman en QED



# **6. Correcciones radiativas y renormalización**



## **7. Dispersión y procesos fundamentales en QED**



## **8. Anomalías y precisión en QED**



# II

## Teoría electrodébil

Fundamentos de teorías gauge no abelianas.	
9	25
10 Simetría $SU(2)_L \times U(1)_Y$ . . . . .	27
11 Campos fermiónicos y corrientes débiles .	29
12 Ruptura espontánea de simetría . . . . .	31
13 Mecanismo de Higgs . . . . .	33
14 Bosones W y Z . . . . .	35
15 Corrientes cargadas y neutras . . . . .	37
16 Violación de paridad y estructura quiral .	39
Pruebas experimentales de la teoría	
17 electrodébil . . . . .	41



# **9. Fundamentos de teorías gauge no abelianas**



## **10. Simetría $SU(2)_L \times U(1)_Y$**



# **11. Campos fermiónicos y corrientes débiles**



## **12. Ruptura espontánea de simetría**



# 13. Mecanismo de Higgs



## **14. Bosones W y Z**



# **15. Corrientes cargadas y neutras**



# **16. Violación de paridad y estructura quiral**



# **17. Pruebas experimentales de la teoría electrodébil**



# III

## Cromodinámica cuántica

18	Carga de color y simetría $SU(3)_C$ . . . . .	45
19	Campos de quarks y gluones . . . . .	47
20	Estructura no abeliana de QCD . . . . .	49
21	Confinamiento y libertad asintótica . . . . .	51
22	Reglas de Feynman en QCD . . . . .	53
	Renormalización y ecuaciones del grupo de	
23	renormalización . . . . .	55
	Hadronización y modelos fenomenológicos.	
24	57	
25	Estados ligados: mesones y bariones . . . . .	59
26	QCD en redes (Lattice QCD) . . . . .	61



## **18. Carga de color y simetría**

**SU(3)<sub>C</sub>**



# **19. Campos de quarks y gluones**



# **20. Estructura no abeliana de QCD**



# **21. Confinamiento y libertad asintótica**



## 22. Reglas de Feynman en QCD



## **23. Renormalización y ecuaciones del grupo de renormalización**



## **24. Hadronización y modelos fenomenológicos**



# **25. Estados ligados: mesones y bariones**



## 26. QCD en redes (Lattice QCD)



# IV

## Modelo estándar

27 Estructura gauge del Modelo Estándar . . . . .	65
28 Contenido de partículas fundamentales . . . . .	67
29 Matriz CKM y violación CP . . . . .	69
30 Masas y acoplamientos . . . . .	71
31 Renormalización del Modelo Estándar . . . . .	73
32 Predicciones de precisión y observables . . . . .	75
33 Neutrinos y mezcla leptónica . . . . .	77
34 Limitaciones del Modelo Estándar . . . . .	79
Extensões: más allá del Modelo Estándar.	
35 81	



## **27. Estructura gauge del Modelo Estándar**



## **28. Contenido de partículas fundamentales**



## **29. Matriz CKM y violación CP**



# **30. Masas y acoplamientos**



# **31. Renormalización del Modelo Estándar**



## **32. Predicciones de precisión y observables**



# **33. Neutrinos y mezcla leptónica**



## **34. Limitaciones del Modelo Estándar**



# **35. Extensiones: más allá del Modelo Estándar**