



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Teorías efectivas para quarkonio pesado
<b>Title:</b>	Effective field theories for heavy quarkonium
<b>Tutor/es:</b>	Clara Peset Martín
<b>E-mail tutor/es:</b>	cpeset@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Estudiar y entender las limitaciones de la cromodinámica cuántica y cómo en el contexto de estados ligados de quarks pesados se puede sobrepasar el límite no perturbativo. Estudiar y entender el concepto de teoría efectiva de campos y aplicarlo al problema práctico del quarkonio pesado. Obtener predicciones teóricas para la fenomenología de quarkonio pesado que se puedan contrastar con datos experimentales del LHCb.

### Metodología:

Usar técnicas modernas de teoría cuántica de campos, es decir, teorías efectivas para estudiar el límite no relativista de la ecuación de Dirac para cromodinámica cuántica. A partir de ahí desarrollar una teoría en términos de potenciales que permita desarrollar cálculos teóricos para quarkonio pesado. Éstos cálculos se hacen generalmente de manera coordinada entre analíticamente y usando programas específicos para ellos.

### Bibliografía:

- Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics  
Francis Halzen, Alan D. Martin, ISBN: 978-0-471-88741-6
- An introduction to quantum field theory, M. Peskin, D. Schroeder, ISBN 0-201-50397-2
- Review of Heavy Quarkonium at weak coupling, Antonio Pineda, Prog.Part.Nucl.Phys. 67 (2012) 735-785
- The charm/bottom quark mass from heavy quarkonium at N<sup>3</sup>LO, Clara Peset, Antonio Pineda, Jorge Segovia, JHEP 09 (2018) 167



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Introducción al estudio de las estructuras hadrónicas
<b>Title:</b>	Introduction to the study of hadron structure
<b>Tutor/es:</b>	Ignazio Scimemi
<b>E-mail tutor/es:</b>	ignazios@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Las distribuciones de momento y spin de quarks y gluones dentro de los hadrones son elementos esenciales para la física de altas energías en aceleradores de partículas. Con este trabajo vamos a introducir unos conceptos como las distribuciones de quarks y gluones en una dimensión (PDF) o 3 dimensiones (TMD, GTMD, etc), los jets, los métodos de cálculos de amplitudes de probabilidad para física de altas energías, las teorías efectivas que permiten escribir las probabilidades (dadas por secciones eficaces). Entre estas últimas las más adecuadas es SCET (Soft Collinear Effective Theory).

### Metodología:

El trabajo necesita una buena preparación en teoría de campos. A partir de allí se va estudiando textos/artículos donde se exponen los conceptos y métodos de las teorías efectivas o los métodos de cálculo. El trabajo consiste en reproducir algunos resultados de una forma no trivial o bien elaborar sobre las nociones aprendidas. Se podrán desarrollar pequeños códigos para ilustrar a través de gráficos los resultados obtenidos.

### Bibliografía:

Introduction to Soft-Collinear Effective Theory, Thomas Becher, A. Broggio, A. Ferroglia, Lect. Notes Phys. 896 (2015) pp.1-206, e-Print: 1410.1892 [hep-ph]  
Lecture notes on Soft-Collinear Effective Theory, I. W. Stewart, [https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-851-effective-field-theory-spring-2013/lecture-notes/MIT8\\_851S13\\_sctenotes.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-851-effective-field-theory-spring-2013/lecture-notes/MIT8_851S13_sctenotes.pdf)  
Transverse spin physics V. Barone, P. Ratcliff, 2003 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.  
A short review on recent developments in TMD factorization and implementation, I. Scimemi, Adv. High Energy Phys. 2019.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Métodos de física teórica para el estudio de scattering a altas energías
<b>Title:</b>	Theoretical Physics methods for high energy scattering
<b>Tutor/es:</b>	Ignazio Scimemi
<b>E-mail tutor/es:</b>	ignazios@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Este trabajo está dedicado al estudio de algunos métodos utilizados en física teórica para el estudio de las partículas elementales. El objetivo es preparar al alumno en unos métodos de cálculo y estudio de teorías efectivas.

En particular, serán objeto de estudio el método de las "scattering amplitudes", utilizado para describir la producción de jets y el "background field method", utilizado para el cálculo de la función beta de QCD y el desarrollo de varias teorías efectivas.

### Metodología:

El trabajo necesita una buena preparación en teoría de campos a partir de allí se va estudiando textos/artículos donde se exponen los conceptos y los métodos de cálculo. El trabajo consiste en reproducir algunos resultados de una forma no trivial o bien elaborar sobre las nociones aprendidas. Se podrán desarrollar pequeños códigos para ilustrar a través de gráficos los resultados obtenidos.

### Bibliografía:

Scattering Amplitudes; H. Elvang, Yu-tin Huang Huang, e-Print: 1308.1697 [hep-th]  
Introduction to the Background Field Method; L.F. Abbott, Acta Phys.Polon.B 13 (1982) 33 y Nucl.Phys.B 185 (1981) 189-203.  
Transverse momentum dependent operator expansion at next-to-leading power; A. Vladimirov, V. Moos, I. Scimemi, JHEP 01 (2022) 110  
QCD: Renormalization for the Practitioner, Pascual, P.; Tarrach, R. Ed: Springer, 20149 Press, 2009.  
An Introduction To Quantum Field Theory. Peskin, Michael Editorial CRC Press, 2019.  
An Introduction to Quantum Field Theory. Serman, George. Cambridge University Press 1993.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Teoría electrodébil y potencial del Higgs en el Modelo Estándar y más allá
<b>Title:</b>	Electroweak theory and Higgs potential in the Standard Model and beyond
<b>Tutor/es:</b>	Juan José Sanz Cillero
<b>E-mail tutor/es:</b>	jusanz02@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Estudiar y presentar el procedimiento seguido por Glashow, Weinberg & Salam que los llevó a la unificación de las fuerzas electromagnética y débil. Se busca hacer hincapié en los distintos contratiempos que surgieron, así como en situar cronológicamente el desarrollo del marco teórico del modelo electrodébil mediante los distintos experimentos que se llevaron a cabo. Se plantea también estudiar el Mecanismo de Higgs y el potencial del Modelo Estándar. Se estudia el proceso de ruptura espontánea de simetría y la aparición de vacíos no-triviales. De igual modo se planteará estudiar algunas extensiones y posibles fenómenos más allá del Modelo Estándar.

### Casos de estudio:

\* Estructura y espectro de masas de los bosones gauge mediadores del Modelo Estándar y otros escenarios con ruptura espontánea de simetría. Diferentes elecciones de vacío. Estudio de la independencia de la elección de vacío en los observables relacionados.

\* Estructura y espectro del sector de Higgs y la consiguiente estructura de masas en sector fermiónico de la teoría. Diferentes elecciones de vacío. Estudio de la independencia de la elección de vacío en los observables relacionados.

**Metodología:**

Se hará un estudio bibliográfico siguiendo las referencias básicas y continuando el estudio a partir de ellas.

Se reproducirán algunos cálculos básicos y se hará uso de software de cálculo simbólico para los análisis más complejos.

**Bibliografía:**

- S. Weinberg, "The Making of the standard model", Eur. Phys. J. C 34 (2004), 5-13; doi:10.1140/epjc/s2004-01761-1 ; [arXiv:hep-ph/0401010 [hep-ph]].
- J.F. Donoghue, E. Golowich and B.R. Holstein, "Dynamics of the standard model", Camb. Monogr. Part. Phys. Nucl. Phys. Cosmol. 2 (1992), 1-540; doi:10.1017/CBO9780511524370 .
- S. Coleman, "Aspects of Symmetry: Selected Erice Lectures", doi:10.1017/CBO9780511565045 .



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Propiedades de los mesones vectoriales ligeros y sus contribuciones al momento magnético anómalo del muon
<b>Title:</b>	Properties of the light vector mesons and their contribution to the muon anomalous magnetic moment
<b>Tutor/es:</b>	Juan José Sanz Cillero
<b>E-mail tutor/es:</b>	jusanz02@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Las contribuciones hadrónicas al momento magnético anómalo del muon (hadronic vacuum polarization y light-by-light scattering) son las responsables de la mayor parte del error en la predicción del Modelo Estándar. Es por ello, muy importante determinar con precisión las amplitudes hadrónicas que contribuyen al  $(g-2)$ , así como las propiedades (masa, anchura, etc.) de los principales mesones que intervienen en estas contribuciones como es el caso de los mesones vectoriales, en particular los más ligeros.

Casos de estudio:

\* Extracción de las propiedades de los mesones vectorial más ligeros mediante el análisis de datos experimentales. Determinación de la masa y anchura de las resonancias. Relación con el momento magnético anómalo del muon.

\* Estudio del momento magnético anómalo del muon y de la corrección al acoplamiento electromagnético mediante el análisis de datos experimentales de bajas y altas energías.

**Metodología:**

Dentro de este proyecto, es muy recomendable que el alumno esté cursando o haya cursado las asignaturas de Partículas Elementales, Campos Cuánticos y Simetrías y Grupos en Física.

Se desarrollará un trabajo principalmente bibliográfico acompañado de algunos cálculos numéricos y manejos de datos básicos. Se aprenderá a estudiar y extraer las propiedades de los mesones a partir del estudio de datos experimentales. Se utilizará principalmente resultados del Lagrangiano efectivo de QCD a bajas energías y otras técnicas matemáticas para la extracción de parámetros hadrónicos.

**Bibliografía:**

Phys.Rept. 887 (2020) 1-166; e-Print: 2006.04822 [hep-ph]

Eur.Phys.J.C 74 (2014) 3, 2803; e-Print: 1312.1501 [hep-ex]

Eur.Phys.J.C 73 (2013) 2594; e-Print: 1306.6308 [hep-ph]

Review of Particle Physics, P.A. Zyla (Particle Data Group), PTEP 2020 (2020) 8, 083C01



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Estudio de la dispersión mesón-mesón y de las propiedades y naturaleza de las resonancias hadrónicas más ligeras.
<b>Title:</b>	Study of meson-meson scattering and of the properties and nature of the lightest hadronic resonances
<b>Tutor/es:</b>	Jacobo Ruiz de Elvira Carrascal
<b>E-mail tutor/es:</b>	jacobore@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Aunque la Cromodinámica Cuántica (QCD) está bien establecida como la teoría que describe las interacciones fuertes, el espectro hadrónico sigue siendo objeto de debate. Desde el punto de vista teórico es una cuestión que se entiende bien, pues QCD es no perturbativa en la escala de energía hadrónica, lo que impide realizar cálculos precisos. Para estudiar el espectro hadrónico se necesitan por tanto, otras herramientas teóricas tales como las teorías efectivas o los métodos dispersivos.

En este trabajo se pretende, en primer lugar, profundizar los conceptos básicos de la teoría cuántica de campos y la física de partículas, e introducir las teorías efectivas y métodos dispersivos necesarios para estudiar las interacciones entre hadrones. En segundo lugar, estas herramientas se utilizarán para estudiar la dispersión pión-pión y pión-kaón y, si el tiempo lo permite, estudiar las resonancias hadrónicas que se producen en dichas interacciones.

### Metodología:

El enfoque será teórico-práctico. En primer lugar, se concertarán reuniones periódicas en las que se introducirán las nociones básicas y se recomendará bibliografía.

En segundo lugar, se estudiará la situación del campo a través de la lectura de artículos científicos, y se plantearán distintos problemas y cálculos para consolidar los conocimientos adquiridos.

### Bibliografía:

- M. E. Peskin and D. V. Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Avalon Publishing, 1995.
- F. Halzen, and A. Martin, "Quarks & Leptons: An introductory course in modern particle physics", John Wiley & Sons, (1984)
- Martin A. D., Spearman T. D., Elementary Particle Theory, North-Holland PC, 1970.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Neutrinos. Oscilaciones, masas, naturaleza y violación de CP
<b>Title:</b>	Neutrinos. Oscillations, masses, nature and CP violation
<b>Tutor/es:</b>	Antonio Dobado
<b>E-mail tutor/es:</b>	dobado@fis.ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	3
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

Obtener una comprensión actualizada de los aspectos más relevantes de la fenomenología de los neutrinos y su descripción teórica.

### Metodología:

Revisión de la bibliografía existente y otros recursos de internet.

El TFG puede enfocarse en una de las cuatro características de los neutrinos mencionadas en el título.

### Bibliografía:

Neutrino physics - Theory, Walter Grimus (Jul 11, 2003)

*Lect.Notes Phys.* 629 (2004) 169-214 *1st Internationale Universitaetswochen fur Theoretische Physik (International University School of Theoretical Physics): Flavor Physics (IUTP 41)*, 169-21, e-Print: [hep-ph/0307149](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0307149) [hep-ph]



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Ondas gravitatorias y su detección
<b>Title:</b>	Gravitational waves and their detection
<b>Tutor/es:</b>	Antonio Dobado
<b>E-mail tutor/es:</b>	dobado@fis.ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

Obtener una comprensión teórica de las ondas gravitatorias en el contexto de la relatividad general. Mecanismos de producción astrofísicos y cosmológicos así como de los sistemas que han permitido su descubrimiento y el estudio de sus propiedades. Potencial como herramienta de observación astrofísica.

### Metodología:

Revisión de la bibliografía existente y otros recursos de internet.

El trabajo puede enfocarse desde el punto de vista teórico o desde el punto de vista de detección de ondas gravitacionales.

### Bibliografía:

C. W. Misner, K. S. Thorne and J. A. Wheeler, 1973, *Gravitation*, W.H. Freeman, San Francisco.

T. Padmanabhan, 2010, *Gravitation*, Cambridge University Press.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Sección eficaz de dispersion inelastica profunda semi-inclusiva
<b>Title:</b>	Cross-section of semi-inclusive deep-inelastic scattering
<b>Tutor/es:</b>	Alexey Vladimirov
<b>E-mail tutor/es:</b>	alexeyvl@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

La dispersión profundamente inelástica semi-inclusiva es uno de los procesos más importantes de la física de altas energías, y se utiliza para explorar la estructura interna del nucleón en términos de las distribuciones de quarks y gluones. Tiene una estructura angular rica que proporciona acceso a diferentes propiedades del nucleón. El TFG se dedica a la derivación de la sección eficaz en el régimen de momento transversal pequeño, y a la descripción de las propiedades de las distribuciones de quarks correspondientes.

### Metodología:

El método principal es el teorema de factorización de la QCD, que es válido a altas energías. Permite relacionar observables (form-factores, sección transversal, etc.) con distribuciones elementales de partones. Aprenderás a calcular la sección transversal, resolver su cinemática y varios elementos de los diagramas de Feynman. La mayor parte del trabajo se puede hacer por manos, pero también se puede realizar con sistemas algebraicos computacionales.

### Bibliografía:

- [1] A.Bacchetta, M.Diehl, et al, "Semi-inclusive deep inelastic scattering at small transverse momentum", JHEP 02 (2007) 093, e-Print: hep-ph/0611265 [hep-ph]
- [2] J.Collins, "Foundations of Perturbative QCD" Camb.Monogr.Part.Phys.Nucl.Phys.Cosmol. 32 (2011) 1-624



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	QCD beta-funcion con el método del campo de fondo
<b>Title:</b>	QCD beta-function with the background field method
<b>Tutor/es:</b>	Alexey Vladimirov
<b>E-mail tutor/es:</b>	alexeyvl@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

La función beta mide la dependencia de la fuerza de una interacción en relación con la energía. El signo de la función beta define el comportamiento de la teoría en bajas y altas energías. La función beta negativa de la QCD conduce al famoso fenómeno de la libertad asintótica. En este TFG calcularás la función beta de la QCD en la aproximación principal utilizando el método del campo de fondo, que simplifica el cálculo y proporciona una interpretación natural de cada paso del mismo.

### Metodología:

La parte principal del TFG consiste en el cálculo del diagrama de Feynman a nivel de un bucle. Aprenderás los principales métodos para tratar con integrales de bucle (parametrización de Schwinger, descomposición t'Hooft-Veltman, álgebra de matrices de Dirac y Gell-Mann), elementos de la teoría de la renormalización y análisis del grupo de renormalización.

### Bibliografía:

[1] J.Collins, "Renormalization", Cambridge University Press, ISBN 9780511622656, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511622656>

[2] Peskin, Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Addison-Wesley, ISBN: 9780201503975



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Fenomenología de la dispersión de alta energía
<b>Title:</b>	Phenomenology of high-energy scattering
<b>Tutor/es:</b>	Alexey Vladimirov
<b>E-mail tutor/es:</b>	alexeyvl@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

Los teoremas de factorización de la QCD proporcionan la descripción de los procesos de dispersión de alta energía en términos de funciones de distribución de partones universales. Estas funciones se parametrizan y determinan a partir de la comparación con los datos experimentales. En este trabajo, se sugiere considerar una reacción de Drell-Yan y determinar la función de distribución de quarks utilizando los datos del LHC y otros experimentos.

### Metodología:

El análisis se realiza con el ordenador (se recomienda conocimientos básicos de Python). Utilizando el código "artemide", desarrollado en la UCM, analizarás los datos y determinarás los parámetros del modelo, así como explorarás la imagen tomográfica del nucleón. Aprenderás los fundamentos del análisis estadístico y de datos, técnicas de propagación de errores y los principales elementos del teorema de factorización de la QCD.

### Bibliografía:

[1] Peskin, Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Addison-Wesley, ISBN: 9780201503975

[2] I.Scimemi, A.Vladimirov, "Non-perturbative structure of semi-inclusive deep-inelastic and Drell-Yan scattering at small transverse momentum"  
JHEP 06 (2020) 137, e-Print: 1912.06532 [hep-ph]



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Correcciones del detector para la reacción de Drell-Yan
<b>Title:</b>	Detector corrections for Drell-Yan reaction
<b>Tutor/es:</b>	Alexey Vladimirov
<b>E-mail tutor/es:</b>	alexeyvl@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

La sección eficaz de dispersión es la principal herramienta para explorar la física de la alta energía. La medición de tales procesos es complicada, en particular debido a limitaciones instrumentales (por ejemplo, el detector no puede ver partículas con energía demasiado baja). Estos efectos deben tenerse en cuenta en el cálculo teórico para describir datos modernos muy precisos. El TFG está dedicado a la derivación de correcciones del detector (o de aceptación) en la reacción de Drell-Yan, que se mide en el gran colisionador de hadrones.

### Metodología:

Las correcciones de aceptación se introducen como restricciones en el espacio de fase del par electrón-positrón. Pueden acumularse en los llamados "fiducial factors", que son computables numéricamente (o en algunos casos exactamente). Aprenderás los métodos de los diagramas de Feynman y los elementos de las medidas modernas de alta energía. El resultado final sería el cálculo real del "fiducial factor" para ATLAS detector en LHC, que se realizará numéricamente, basado en la fórmula teórica derivada.

### Bibliografía:

[1] Peskin, Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Addison-Wesley, ISBN: 9780201503975

[2] I.Scimemi, A.Vladimirov, "Non-perturbative structure of semi-inclusive deep-inelastic and Drell-Yan scattering at small transverse momentum"  
JHEP 06 (2020) 137, e-Print: 1912.06532 [hep-ph]

[3] A.Bacchetta, et al, "Transverse-momentum-dependent parton distributions up to N3LL from Drell-Yan data",  
JHEP 07 (2020) 117 e-Print: 1912.07550 [hep-ph]