

TRABAJO FIN DE GRADO



Mesones K: Extrañeza,
Interacción Débil y Violación CP

Autor:

Carmen Sánchez Pérez

Tutores:

J. A. Caballero Carretero

G. D. Megías Vázquez

19 de marzo de 2021

En agradecimiento:

*A mis amigos, los que viven fuera y los de aquí,
en especial a Noelia Martín Zorrero y a Ana Valadés Alcaraz,
mis dos hermanas de distinta sangre, por apoyarme y enseñarme tanto,
incluso en la distancia y tras tantos años.*

*A mi pareja y compañero de vida, Aythami Sosa Alemán,
por todo su amor y por no dejar que tire nunca la toalla.*

*A mi familia, sobretodo a mis padres, Cati Pérez y Andrés Sánchez;
y a mis hermanos, Belén y Pedro, por animarme y creer en mí siempre.*

Índice general

Índice de figuras	v
Resumen/Abstract	vi
Objetivos y metodología	1
1. Introducción	2
2. Extrañeza	4
2.1. Extrañeza en el Modelo de Quark	4
2.2. Extrañeza en partículas «no extrañas»	4

Índice de figuras

Resumen

Este documento se presenta como un estudio en detalle de lo que se conoce en Física de Partículas como mesones K o kaones. La fama de los mesones K radica en que fueron las primeras partículas en las cuales se detectó un comportamiento muy inusual: los mesones K se forman gracias a la Interacción Fuerte, pero decaen por Interacción Débil. Por este motivo, se denominaron partículas extrañas y supuso la introducción de un nuevo número cuántico, la extrañeza S. Además, dado que decaen por interacción débil, pueden presentar violación de la simetría CP y, por tanto, oscilaciones de sabor. A pesar de que hoy en día también se han observado estos fenómenos en otras partículas, los mesones K, siguen actualmente jugando un papel muy importante y útil para estudiar las interacciones fundamentales.

Abstract

This document presents itself as thorough study of what is known in Particle Physics as K-mesons or Kaons. K-mesons renown lies in the fact that they were the first particles in which a very unusual behaviour was detected: K-mesons are formed thanks to the Strong Interaction but decay by means of the Weak Interaction. For this reason, they were named strange particles and it led to the introduction of a new quantum number, the Strangeness S. Moreover, since K-mesons decay by Weak Interaction, they can present CP-symmetry violation and therefore, flavor oscillations. In spite of this phenomena been observed in other particles today, K-mesons still play an important and useful role in the study of Fundamentals Interactions nowadays.

Objetivos y metodología

La propuesta de este Trabajo de Fin de Grado surge de la gran motivación que supuso en la asignatura de Física Nuclear y Partículas la realización de un proyecto en grupo conocido como “Adopta una Partícula” en el cuál se escogió el mesón K como partícula adoptada. Para nuestra sorpresa, esta partícula resultó ser de lo más fascinante.

Desde su descubrimiento, el mesón K ha constituido un rol fundamental en la Física de Partículas. No sólo fueron las primeras partículas extrañas que se detectaron, sino que ello supuso una revolución total para la Física moderna: fueron los responsables de la introducción de la Extrañeza como nuevo número cuántico y ha servido de inspiración para sentar las bases del Modelo de Quarks y el hallazgo de cuatro de los seis quarks conocidos.

La teoría de Quarks ha tenido numerosas consecuencias de suma importancia en el estudio de las Interacciones Fundamentales y el Modelo Estándar. Gracias a ello ha sido posible predecir las posibles causas de violaciones de simetría, la existencia de nuevos quarks presentes en nuevas partículas y oscilaciones de sabor. Todo ello nos permite acercarnos un poco más a la comprensión de la física de cortas distancias y el mundo microscópico.

Por lo tanto, este trabajo pretende dar a conocer los mesones K en profundidad y detallar todas estas implicaciones que su descubrimiento ha traído consigo, con el objetivo de concentrar toda esa información en un único documento, facilitando el trabajo de los divulgadores e investigadores de este campo de la Física que necesiten o, simplemente, quieran conocer más acerca de estas partículas extrañas tan útiles y curiosas.

Para tal fin, tras unas breves pinceladas sobre el contexto histórico, comenzaremos con un estudio en tono cualitativo de la Extrañeza y la definición de mesón K en el Modelo de Quarks, seguido de un desarrollo más cuantitativo de la Interacción Débil, dónde haremos uso de su formalismo general. Finalmente, relacionaremos todo lo anterior con la violación de simetría CP y proporcionaremos algunos aspectos más actuales dónde se trabaja con mesones K.

1 Introducción

El período entre 1940-1950 fue clave para el desarrollo de la Física de Partículas debido a los numerosos descubrimientos que se llevaron a cabo. Yukawa había propuesto hace unos años atrás la existencia de una partícula portadora de la Interacción Fuerte, cuya masa estuviera entre la del protón y la del electrón y denominada por este motivo mesón (middle weight).

En los años posteriores, los científicos no cesaron de realizar experimentos en las cámaras de niebla tratando de identificar la partícula de Yukawa. Primero se descubrió en 1936 el muón μ , una partícula cuya masa coincidía con la descrita por Yukawa pero que fue descartada al comprobar que su sección eficaz no era la propia de la Interacción Fuerte. En 1947, el grupo de investigación de Powell descubrió el mesón π o pión, y esta vez la partícula sí coincidía con las predicciones de Yukawa. Sin embargo, este no fue el único descubrimiento realizado en 1947.

Los físicos británicos Rochester y Butler, se hallaban también ese año realizando experimentos en una cámara de niebla cuando observaron unos rastros inusuales en ella que tenían forma de V invertida. Este hecho supuso la primera observación de los mesones K. Decidieron repetir el experimento en los pirineos franceses, detectando decenas de estas nuevas partículas. En 1949, el grupo de Powell logró también observar un rastro parecido que indicaba la presencia de esta nueva partícula, la cual posteriormente decaía en tres piones.

Con el paso del tiempo, las técnicas de detección de partículas mejoraron enormemente y durante la copiosa producción de estas partículas en los experimentos, se observó que, a pesar de que la Interacción Fuerte era la responsable de su formación, su larga vida indicaba que su desintegración se producía mediante Interacción Débil. Este fenómeno era muy inusual y le hizo ganarse a estas partículas el sobrenombre de extrañas.

Los científicos de la época propusieron varias teorías, pero finalmente se concluyó que era necesario introducir un nuevo número cuántico para darle explicación a este suceso, la extrañeza.[?][?]

Así pues, podemos concluir que los mesones K son hadrones de tipo mesón; son partículas bosónicas que sienten la interacción fuerte y se caracterizan por tener espín entero (nulo en este caso) y número bariónico nulo (por ser mesones). Se consideran partículas “estables” porque, generalmente, decaen en hadrones más ligeros mediante interacción débil en lugar de por interacción fuerte o electromagnética y tienen vidas medias relativamente largas.

Actualmente se conocen 4 tipos de mesones K distintos: las partículas K^+ y K^0 con sus respectivas antipartículas K^- y \bar{K}^0 . La siguiente tabla muestra un resumen de sus propiedades:

Partícula	K^+	K^-	K^0	\bar{K}^0
Carga Q	1	-1	0	0
Masa (MeV/c^2)	493,677	493,677	497,611	497,611
Isospín I	1/2	1/2	1/2	1/2
3 ^a componente del Isoespín I_3	1/2	-1/2	-1/2	1/2
Momento angular y paridad J^π	0^-	0^-	0^-	0^-
Nº Bariónico B	0	0	0	0
Extrañeza S	1	-1	1	-1
spin s	0	0	0	0

Tabla 1.1: Propiedades y números cuánticos relevantes de los Mesones K.¹

En los siguientes capítulos se detallan, en mayor profundidad, la propiedad de la extrañeza así como los decaimientos de los distintos mesones K por Interacción Débil y sus repercusiones en la violación de simetría CP.

¹Propiedades extraídas de [?], [?].

2 Extrañeza

C

2.1. Extrañeza en el Modelo de Quark

En el modelo de Quarks

2.2. Extrañeza en partículas «no extrañas»

El protón