

Deducción pedagógica completa del Mecanismo de Anderson-Higgs

Camilo A. Huertas-Archila¹, Julian Avila¹, Jose Luis Zamora¹

¹Programa Académico de Física, Universidad Distrital

1 Resumen

Se presenta un marco conceptual para la comprensión del mecanismo de Higgs, diseñado con un enfoque pedagógico accesible para estudiantes de pregrado en física. El objetivo es dilucidar el origen de la masa de las partículas elementales, conectándolo con los principios fundamentales de simetría en la teoría cuántica de campos.

La metodología parte de la distinción entre simetrías gauge globales y locales para introducir el concepto de ruptura espontánea de la simetría (RSS). Se utiliza el potencial de “sombrero mexicano” como arquetipo para ilustrar cómo un lagrangiano simétrico genera un estado de vacío asimétrico, lo que conduce a una rigidez de fase y a la aparición de bosones de Nambu-Goldstone, en concordancia con su teorema.

El resultado central es la elucidación del mecanismo de Higgs. Se demuestra que, al promover la simetría a una de tipo gauge local, los bosones de Goldstone –que constituirían una inconsistencia fenomenológica– son absorbidos por los campos de gauge, originalmente sin masa. Este proceso no solo dota de masa a los bosones vectoriales (W y Z), sino que también predice la existencia de una excitación escalar masiva residual: el bosón de Higgs.

En conclusión, este trabajo ofrece una construcción lógica y autocontenida que vincula la abstracción de las simetrías con el fenómeno físico de la masa, proveyendo una herramienta didáctica esencial para la apreciación de uno de los pilares del Modelo Estándar.

2 Antes del Mecanismo de Anderson-Higgs

3 ¿Qué problemas existían antes del Mecanismo de Anderson-Higgs?

Gran éxito con la QED pero al aplicarla a la electrodinámica los bosones no tenían masa, contrario a los experimentos. Si se introducía un término de masa deliberadamente terminábamos con una teoría no renormalizable.

4 El Mecanismo

5 La electrodinámica cuántica (QED)

Fue la primera teoría que este enfoque del Principio de Gauge dio grandes frutos
Hablamos de QFT

5.1 Campo del electron

Introducimos el campo fermionico, la estadística de fermi-dirac, y el campo de dirac, un campo fermionico para describir partículas de spin $-1/2$. Introducimos la ecuación de dirac, usemos notación slash de Feynman.

5.2 grupo $U(1)$

introducción el grupo $U(1)$, y mostramos que la cantidad invariante es la carga eléctrica (con simetría global), luego la promovemos localmente, para mostrar como aparece un campo de gauge (de fuerza) que interpretamos como el campo electromagnético. mostramos la aparición del un boson sin masa, el foton.

6 Teoría electrodébil, el intento con $SU(2) \times U(1)$

El siguiente gran paso fue aplicar lo mismo a la teoría electrodébil $SU(2) \times U(1)$. Obtenemos bosones W y z sin masa, pero los experimentos muestran que tienen masa (hablamos de la relación que tiene el alcance de una fuerza con que tan masivo es su boson).

7 ruptura espontánea de la simetría

presentamos el potencial de sombrero mexicano.

7.1 ruptura de la simetría globalmente

mostrar como se hace y que resultados se obtiene.

7.2 ruptura de la simetría localmente

mostramos como se hace y que resultados se obtiene.

7.3 ideas de faltan

encontrar la forma de incorporar los bosones de goldstone y hablar del tema de los grados de libertad, y todo eso.

llegamos a que los bosones W y Z ganan un grado de libertad lo que les da masa.

8 Las consecuencias del Mecanismo y sus preguntas

9 ¿Qué problemas solucionó el Mecanismo?

hablamos de los bosones w y z con masa

unificación de electromagnetismo y débil en teoría electrodébil (¿que ocurre con la fuerza nuclear fuerte?, es necesaria mencionarla en el mecanismo?, si no, al menos podemos dar un tipo de pregunta abierta al lector para que se pregunte si la fuerza nuclear fuerte puede explicarse por principio de gauge.)

hablamos de acoplamientos de yukawa para explicar la masa de los fermiones (electrones (leptones), quarks (bariones)).

10 ¿Qué problemas deja el Mecanismo?

- el problema de la jerarquía: masa del bosón de higgs muy ligera comparada con la escala de Planck. explicamos por qué esto es un problema.
- el problema de la constante cosmológica: la energía de vacío que nos dice el potencial de higgs (y su campo de higgs) es mayor a la energía oscura que se observa (¿por qué?, esto es clave que profundicemos, porque se tiene la energía oscura en un santoral).
- por qué las masas son las que son.
- nada sobre la gravedad ni materia oscura.

References