Física de Partículas

FISI-3152 (Andrés Reyes) - Parcial 3 - 19.05.2020

En este examen parcial completaremos los cálculos que iniciamos en clase conducentes a la fórmula para la sección eficaz que corresponde al efecto Compton. Los 3 objetivos que se persiguen son los siguientes: (i) obtener el elemento matricial $T_{\rm fi}$ *directamente* a partir de la serie de Dyson (este es un excelente ejercicio para entender de dónde surgen las reglas de Feynman!), (ii) completar el cálculo de la sección eficaz, para así obtener un resultado que es directamente comparable con situaciones experimentalmente relevantes (iii) obtener el límite de bajas energías y, por comparación con la fórmula de Thomson, ilustrar cómo la electrodinámica cuántica en efecto provee una generalización consistente, en el dominio cuántico, de la electrodinámica clásica. Haremos uso, en particular, de las notas de clase [13] (Scattering clásico de radiación) y [17] (Operador S en QED), así como del capítulo 10 de Scheck (Quantum Physics).

[1.] (10/20) Partiendo de la serie de Dyson, en las notas de clase [17] obtuvimos todas las contribuciones del operador de scattering en QED, para procesos de orden 2. Estos son procesos cuyos respectivos diagramas de Feynman contienen exactamente 2 vértices. Para un proceso de scattering como el de Compton, que es de la forma

$$e^- + \gamma \to e^- + \gamma, \tag{1}$$

solamente aquellos diagramas que tengan dos líneas fermiónicas *externas* y dos líneas bosónicas *externas* contribuirán al proceso. Como es evidente en las notas, los únicos dos términos que pueden contribuir son el ③ y el ⑤. Calculando explícitamente las contribuciones de estos dos términos a la "matriz T" para estados inciales/finales de la forma

$$|\mathrm{in}\rangle = a^\dagger_{r_1}(p_1)c^\dagger_{\lambda_1}(k_1)|0\rangle, \qquad |\mathrm{out}\rangle = a^\dagger_{r_2}(p_2)c^\dagger_{\lambda_2}(k_2)|0\rangle, \tag{2}$$

muestre que se obtiene el siguiente resultado:

$$T_{\rm fi} = \frac{-e^2}{(2\pi)^6}\overline{u^{(r_2)}}(p_2)\left(\not{\epsilon}'\frac{(\not{k}_1+\not{p}_1+m)}{2k_1\cdot p_1}\not{\epsilon} - \not{\epsilon}\frac{(\not{p}_1-\not{k}_2+m)}{2p_1\cdot k_2}\not{\epsilon}'\right)u^{(r_1)}(p_1), \tag{3}$$

donde $\varepsilon' \equiv \varepsilon^{(\lambda_2)^*}(k_2)$ y $\varepsilon \equiv \varepsilon^{(\lambda_1)}(k_1)$. Explique cómo esta misma expresión se obtiene a partir de las reglas de Feynman (cf. Scheck, cap. 10). Dibuje los diagramas respectivos e indique los términos que representa cada una de las líneas.

[2.] (10/20) Haciendo referencia a las notas [13], recordemos que la sección eficaz de Thomson toma la forma

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{e^2}{mc^2}\right)^2 \sin^2\theta, \tag{4}$$

donde θ es el ángulo entre $\hat{n}$ y $\boldsymbol{E}_{\text{in}}$. Nótese que este ángulo **no es** el ángulo θ_L definido en Scheck justo antes de la ecuación (10.43).

(i) Muestre que, al promediar sobre la polarización del campo incidente, la fórmula de Thomson da lugar a la siguiente expresión para la sección eficaz para luz no polarizada:

$$\overline{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)} = \left(\frac{e^2}{mc^2}\right)^2 \left(\frac{1+\cos^2\theta_L}{2}\right). \tag{5}$$

Explique qué relación tiene esta expresión con la ec. (10.44) (sección eficaz de Compton) en Scheck.

(ii) Explique cuál es la diferencia entre las fórmulas (10.44) y (10.45) en Scheck. ¿Cómo se relaciona la fórmula (10.45) (Klein-Nishina) con la fórmula de Thomson, ec. (4) de este enunciado?

Nota: El cálculo que lleva de la expresión (3) para T_{fi} en este enunciado a la fórmula final (10.44) en Scheck para scattering de Compton se describe en gran detalle en la sección 10.1 de Scheck. Aunque en este examen no se pide reproducir dichos cálculos, se recomienda fuertemente realizarlos, ya que representan un ejemplo (si bien elemental) de cómo se calculan los diagramas de Feynman.

Este parcial (para resolver en casa) puede ser desarrollado de forma individual, o por parejas. Fecha de entrega: **miércoles 27 de mayo** (Sicua). Por favor asegúrese de subir un solo archivo, en formato pdf, que además sea **razonablemente legible.** Documentos ilegibles o mal presentados recibirán una penalización de hasta 20% del valor del examen.