

Física IV (IF 2023)

Aula 37

- Objetivos de aprendizagem
 - Reconhecer o quadrimomento de uma partícula sem massa
 - Calcular a cinemática relativística de processos físicos simples

Momento relativístico de partícula sem massa

Quadrimento de uma partícula de massa m : $p^u = m \eta^u$

$$\vec{p} = m \gamma(u) \vec{u} = m \vec{\eta}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

Partículas sem massa $m \rightarrow 0 \Rightarrow \gamma \rightarrow \infty \Rightarrow u \rightarrow c$

Exemplo: Fóton (Quantum de radiação eletromagnética)

$$E = h \nu \quad u = c \quad (\gamma = \infty, m = 0)$$

$$E = pc$$

Densidade de momento linear da radiação eletromagnética

$$\vec{\pi} = \frac{1}{c^2} \vec{S} \quad (\text{aula 5, slide 2})$$

Densidade de energia da radiação eletromagnética

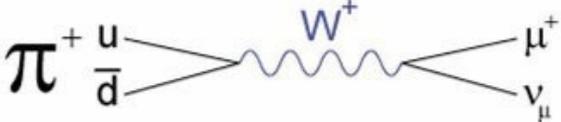
$$u_{EM} = \frac{|\vec{S}|}{c} = |\vec{\pi}| c \quad (E = pc)$$

Conservação de energia e momento

- Exemplos:
 - 1) Decaimento do pión
 - 2) Efeito Compton
 - 3) Aniquilação de pares

Decaimento do pión

- Decaimento: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$, ($t_{1/2} = 26 \text{ ns}$)
- Composição de quarks do pión: $u\bar{d}$

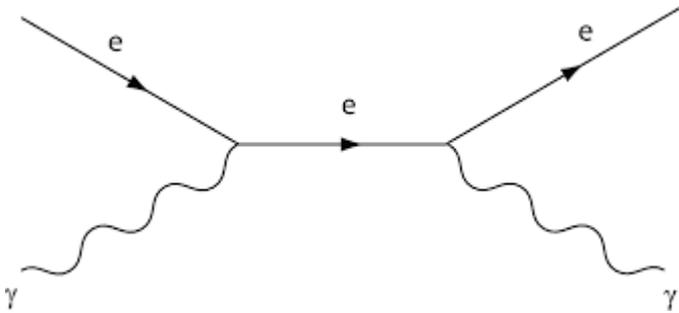
- Diagrama de Feynman 

- Massas: $m(\pi^+) = 140 \text{ MeV}/c^2$
 $m(\mu^+) = 106 \text{ MeV}/c^2$
 $m(\nu) \approx 0$

a) Determinar a energia do múon sem determinar a velocidade. b) determinar a velocidade

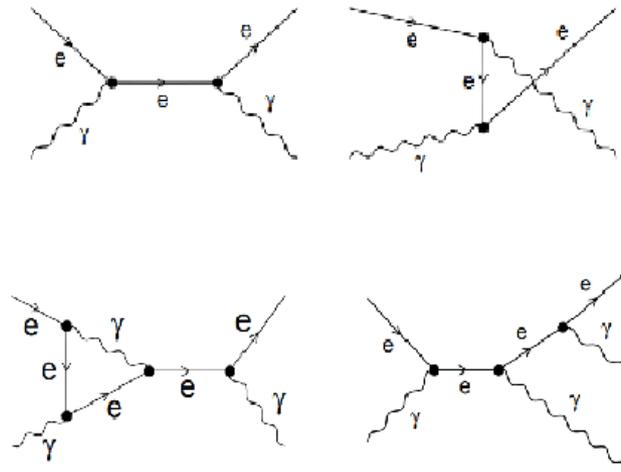
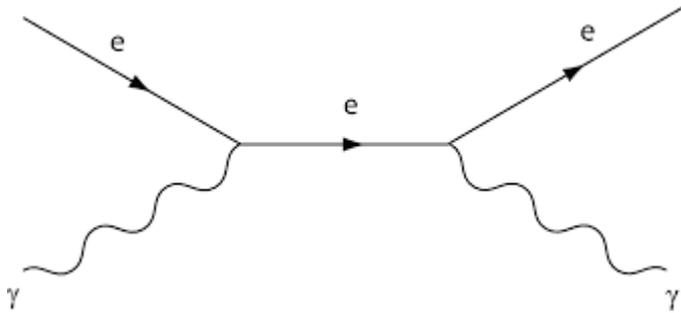
Efeito Compton

- Espalhamento “elástico” entre fóton e elétron
- Massa do elétron: $m(e^-) = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
- Diagrama da QED:



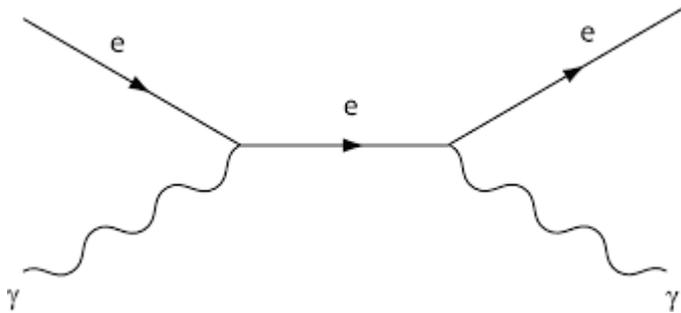
Efeito Compton

- Espalhamento “elástico” entre fóton e elétron
- Massa do elétron: $m(e^-) = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
- Diagrama da QED:

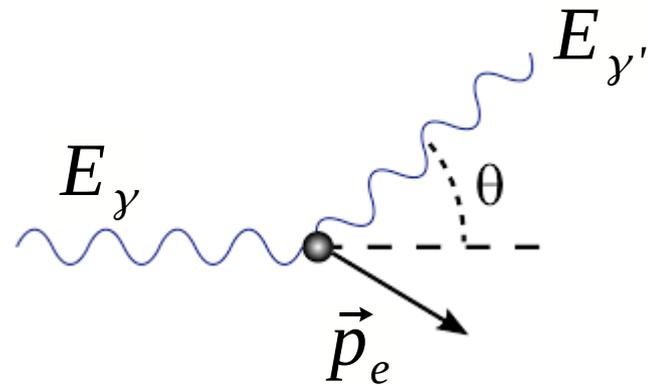


Efeito Compton

- Espalhamento “elástico” entre fóton e elétron
- Massa do elétron: $m(e^-) = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
- Diagrama da QED:



a) Determinar a energia do fóton espalhado como função do ângulo de espalhamento:



Griffiths

Problema 12.34 No passado, a maioria dos experimentos da física de partículas incluía alvos estacionários: uma partícula (geralmente um próton ou um elétron) era acelerada a uma alta energia E , e colidia com uma partícula alvo em repouso (Figura 12.29a). Energias *relativas* muito maiores podem ser obtidas (com o mesmo acelerador) se *ambas* as partículas forem aceleradas até a energia E , e disparadas uma contra a outra (Figura 12.29b). *Classicamente*, a energia \bar{E} de uma partícula em relação à outra é de apenas $4E$ (por quê?) — não há muito a ganhar (apenas um fator de 4). Mas, *relativisticamente*, o ganho pode ser *enorme*. Assumindo que as duas partículas têm a mesma massa m , mostre que

$$\bar{E} = \frac{2E^2}{mc^2} - mc^2. \quad (12.59)$$

Suponha que você use prótons ($mc^2 = 1 \text{ GeV}$) com $E = 30 \text{ GeV}$. Que \bar{E} obterá? A que múltiplo de E isso equivale? (1 GeV=10⁹ elétron volts.) [Em virtude desse acréscimo relativístico, a maioria dos experimentos modernos com partículas inclui **feixes colidentes**, em vez de alvos fixos.]