2.1 Mostre que, para um campo escalar livre, vale :

$$\vec{P} = \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \, \vec{p} \, a^\dagger_{\vec{p}} a_{\vec{p}}$$

(eq 56.1 das notas de aula)

2.2 Considere o campo escalar complexo (livre), com ação dada por:

(Peskin 2.2)

$$S = \int d^4x \left(\partial_\mu \phi^* \partial^\mu \phi - m^2 \phi^* \phi \right)$$

2.2a Mostre que o Hamiltoniano é:

$$H = \int d^3x \left(\pi^* \pi + \nabla\phi^* \cdot \nabla\phi + m^2 \phi^* \phi \right)$$

2.2b Mostre que ϕ satisfaz a eq. de Klein-Gordon

2.2c Escreva H em termos de operadores de criação e aniquilação, mostre que a teoria contém dois conjuntos de partículas, ambas de massa m.

2.2d Utilizando o Teorema de Noether, mostre que a carga seguinte é conservada:

$$Q = \int d^3x \; i \left(\phi^* \pi^* - \pi \phi \right)$$

2.2e Escreva a carga acima em termos de operadores de criação e aniquilação e mostre que os dois conjuntos de partículas tem cargas opostas

2.3 Refaça os passos das pgs 65-66 para y0 > x0 obtendo o propagador avançado:

$$D_A(x-y)$$

2.4 Mostre que a largura de decaimento em n partículas pode ser escrita como:

$$d\Gamma = \frac{1}{2m_A} \left(\prod_f \frac{d^3p_f}{(2\pi)^3 \, 2E_f} \right) |\mathcal{M}(m_A \to \{p_f\})|^2 (2\pi)^4 \delta^{(4)}\left(p_A - \sum p_f\right)$$

(eq 79.2 das notas de aula)

2.5

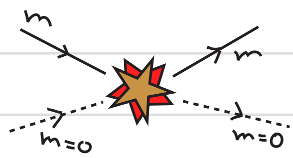
Considere uma teoria em que para o espalhamento 2 → 2 valha:

$$i\mathcal{M} = i\lambda$$

Calcule a seção de choque total para o espalhamento em que tenhamos:

uma partícula de massa *m* e uma sem massa no estado inicial

uma partícula de massa *m* e uma sem massa no estado final



(a resposta pode ficar em termos de λ, m e a energia do centro de massa)

2.6

A seguinte teoria com dois campos, ϕ e φ:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^2 + \frac{1}{2}(\partial_\mu \varphi)^2 - \frac{1}{2} M^2 \phi^2 - \frac{1}{2} m^2 \varphi^2 - \mu \phi \varphi \varphi$$

Permite que ϕ decaia em dois φ caso M >2m, e vale: $|\mathcal{M}| = \mu$

Calcule o tempo de vida de ϕ e note o que ocorre quando M → 2m

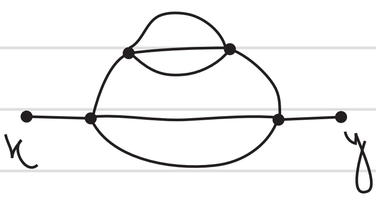
2.7

Continue a prova por indução do teorema de Wick (pg 88-89 das notas de aula), mostrando o teorema para o caso de três campos:

$$\langle 0 | T\{\phi(x_1)\, \phi(x_2)\, \phi(x_3)\} | 0 \rangle$$

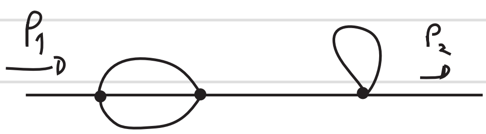
2.8

Use as regras de Feynman de $\lambda\phi^4$ para escrever a expressão de G(x,y) para o diagrama abaixo:



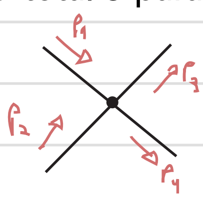
2.9

Use as regras de Feynman de $\lambda\phi^4$ para escrever a expressão de $\langle p_2 | p_1 \rangle$ para o diagrama abaixo:



2.10

Calcule a sessão de choque total σ para o espalhamento 2 → 2 em ordem mais baixa de $\lambda\phi^4$ (partícula de massa m):



Expresse sua resposta em termos de E_{CM} e λ.