

FI 193 – Teoria Quântica de Sistemas de Muitos Corpos

2º Semestre de 2023

26/09/2023

Aula 15

Aula passada

Hamiltoniano: $H = H_0 + H_1$

Versão de interação $\left\{ \begin{array}{l} \text{Estados: } |\Psi_I(t)\rangle = e^{iH_0 t} |\Psi_S(t)\rangle \\ \text{Operadores: } O_I(t) = e^{iH_0 t} O_S e^{-iH_0 t} \end{array} \right.$

Se H_0 é quadrático, os **operadores** têm dinâmica simples:

$$H_0 = \sum_{\mathbf{q}} \omega_{\mathbf{q}} c_{\mathbf{q}}^{\dagger} c_{\mathbf{q}} \Rightarrow c_{\mathbf{q}I}(t) = e^{-i\omega_{\mathbf{q}} t} c_{\mathbf{q}}$$

$$O_I(t) = \sum_{\mathbf{k}, \mathbf{q}} O(\mathbf{k}, \mathbf{q}) c_{\mathbf{k}I}^{\dagger}(t) c_{\mathbf{q}I}(t)$$

Aula passada

Os **estados** têm dinâmica complicada:

$$|\Psi_I(t)\rangle = \tilde{U}(t, t_0) |\Psi_I(t_0)\rangle$$

$$i\partial_t \tilde{U}(t, t_0) = H_{1I}(t) \tilde{U}(t, t_0)$$

O operador evolução temporal permite uma **expansão perturbativa em H_1**

$$\tilde{U}(t, t_0) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-i)^n}{n!} \int_{t_0}^t dt_1 \dots dt_n T [H_{1I}(t_1) \dots H_{1I}(t_n)]$$

Teorema de Gell-Mann e Low

(Fetter & Walecka, Seção 6)

$$H = H_0 + e^{-\eta|t|} H_1 \quad (\eta \rightarrow 0^+)$$

Seja um autoestado de H_0 : $H_0 |\Phi_0\rangle = E_0 |\Phi_0\rangle$

Se o seguinte limite existe $\lim_{\eta \rightarrow 0^+} \frac{\tilde{U}_\eta(0, \pm\infty) |\Phi_0\rangle}{\langle \Phi_0 | \tilde{U}_\eta(0, \pm\infty) | \Phi_0 \rangle}$

então ele é $\frac{|\Psi_0\rangle}{\langle \Phi_0 | \Psi_0 \rangle}$ onde $H \left(\frac{|\Psi_0\rangle}{\langle \Phi_0 | \Psi_0 \rangle} \right) = E \left(\frac{|\Psi_0\rangle}{\langle \Phi_0 | \Psi_0 \rangle} \right)$

1. Nas aplicações tomaremos $|\Phi_0\rangle$ como o estado fundamental não interagente e suporemos que $|\Psi_0\rangle$ é o estado fundamental interagente.
2. Isso nem sempre é verdade, pode ser um estado excitado! Por exemplo, se $|\Phi_0\rangle$ e $|\Psi_0\rangle$ têm simetrias diferentes.
3. Também há problemas se o estado não é $|\Psi_0\rangle$ perturbativamente acessível a partir de $|\Phi_0\rangle$.
4. Também há ambiguidades se o estado $|\Phi_0\rangle$ é degenerado.

Identidade útil

$$O_I(t) = e^{iH_0 t} O_S e^{-iH_0 t} \Rightarrow O_S = e^{-iH_0 t} O_I(t) e^{iH_0 t}$$

$$O_H(t) = e^{iHt} O_S e^{-iHt} = e^{iHt} e^{-iH_0 t} O_I(t) e^{iH_0 t} e^{-iHt}$$

Mas: $\tilde{U}(t, t_0) = e^{iH_0 t} e^{-iH(t-t_0)} e^{-iH_0 t_0}$

$$O_H(t) = \tilde{U}(0, t) O_I(t) \tilde{U}(t, 0)$$

A função de Green em termos de U

$$iG(1,2) = \frac{\langle \Phi_{0H} | T [\psi_{1H} \psi_{2H}^\dagger] | \Phi_{0H} \rangle}{\langle \Phi_{0H} | \Phi_{0H} \rangle} \quad \begin{array}{l} 1 \rightarrow \vec{r}_1 t_1 \sigma_1 \\ 2 \rightarrow \vec{r}_2 t_2 \sigma_2 \end{array}$$

SUPOR $t_1 > t_2$ (O CASO $t_2 > t_1$ É ANALÓGO):

$$iG(1,2) = \frac{\langle \Phi_{0H} | \psi_{1H} \psi_{2H}^\dagger | \Phi_{0H} \rangle}{\langle \Phi_{0H} | \Phi_{0H} \rangle} = \frac{N}{D}$$

DE GELL-MANN-LOW? $\tilde{U}_n(+\infty, -\infty) \equiv S$

$$\frac{\langle \Phi_0 | \Phi_0 \rangle}{|\langle \Phi_0 | \Phi_0 \rangle|^2} = \frac{\langle \Phi_0 | \tilde{U}_n^\dagger(0, +\infty) \tilde{U}_n(0, -\infty) | \Phi_0 \rangle}{\langle \Phi_0 | \tilde{U}_n^\dagger(0, +\infty) | \Phi_0 \rangle \langle \Phi_0 | \tilde{U}_n(0, -\infty) | \Phi_0 \rangle}$$

$$\langle \Phi_0 | \psi_{1H} \psi_{2H}^\dagger | \Phi_0 \rangle = \frac{1}{d} \langle \Phi_0 | \tilde{U}_n^\dagger(0, +\infty) \psi_{1H} \psi_{2H}^\dagger \tilde{U}_n(0, -\infty) | \Phi_0 \rangle$$

$$\begin{aligned}
 & \langle \Phi_0 | \tilde{U}_n^\dagger(0, +\infty) \Psi_{1I} \Psi_{2I}^\dagger \tilde{U}_n(0, -\infty) | \Phi_0 \rangle = \\
 & = \langle \Phi_0 | \underbrace{\tilde{U}_n^\dagger(0, +\infty) \tilde{U}(0, t_1)}_{\tilde{U}_n(+\infty, t_1)} \Psi_{1I}(t_1) \underbrace{\tilde{U}(t_1, 0) \tilde{U}(0, t_2)}_{\tilde{U}(t_1, t_2)} \Psi_{2I}^\dagger(t_2) \underbrace{\tilde{U}(t_2, 0) \tilde{U}_n(0, -\infty)}_{\tilde{U}(t_2, -\infty)} | \Phi_0 \rangle
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 iG(1,2) &= \frac{\langle \Phi_0 | \tilde{U}_n(+\infty, t_1) \Psi_{1I} \tilde{U}_n(t_1, t_2) \Psi_{2I}^\dagger \tilde{U}_n(t_2, -\infty) | \Phi_0 \rangle}{\langle \Phi_0 | \tilde{U}_n(+\infty, -\infty) | \Phi_0 \rangle}
 \end{aligned}$$

PROVA-SE (F+W, pg. 84):

$$\begin{aligned}
 iG(1,2) &= \frac{\langle \Phi_0 | T [\tilde{U}_n(+\infty, -\infty) \Psi_{1I} \Psi_{2I}^\dagger] | \Phi_0 \rangle}{\langle \Phi_0 | T [\tilde{U}_n(+\infty, -\infty)] | \Phi_0 \rangle}
 \end{aligned}$$

$$\tilde{U}_n(+\infty, -\infty) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-i)^n}{n!} \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 dt_2 \dots dt_n T [H_{1I}(t_1) \dots H_{1I}(t_n)]$$

↳ VAMOS DEIXAR DE INCLUIR A PARTIR DE AGORA

$$H_{\text{int}}(t) = \frac{1}{2} \sum_{l,m,p} V_{l,m,p} c_{eI}^\dagger(t) c_{mI}^\dagger(t) c_{pI}(t) c_{oI}(t)$$

NOTAMOS AGORA QUE CADA TERMO NO NUMERADOR E NO DENOMINADOR DE $G(1,2)$ ENVOLVE O VALOR ESPERADO NO EST. FUND. NÃO INTERAGENTE $|\Phi_0\rangle$

DE UMA SEQUÊNCIA DE OPERADORES DE CRIAÇÃO E DESTRUIÇÃO NA VERSÃO DE INTERAÇÃO:

$$\langle \Phi_0 | a_1^\dagger(t_1) a_2^\dagger(t_2) a_3(t_3) a_4(t_4) \dots a_l(t_l) a_k^\dagger(t_k) | \Phi_0 \rangle$$

\downarrow
 $a_3(t_3) = e^{-i\omega_3 t_3} a_3$

Forma útil

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dt_3 H_{1I}(t_3) = \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta} \int d^3r_3 d^3r_4 \int_{-\infty}^{+\infty} dt_3 U(\mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_4) \psi_{\alpha I}^\dagger(\mathbf{r}_3, t_3) \psi_{\beta I}^\dagger(\mathbf{r}_4, t_3) \psi_{\beta I}(\mathbf{r}_4, t_3) \psi_{\alpha I}(\mathbf{r}_3, t_3)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta} \underbrace{\int d^3r_3 d^3r_4}_{\int dx_3 dx_4} \int_{-\infty}^{+\infty} dt_3 \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} dt_4 U(\mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_4) \delta(t_3 - t_4)}_{U(x_3 - x_4) \equiv U_{34}} \underbrace{\psi_{\alpha I}^\dagger(\mathbf{r}_3, t_3) \psi_{\beta I}^\dagger(\mathbf{r}_4, t_4) \psi_{\beta I}(\mathbf{r}_4, t_4) \psi_{\alpha I}(\mathbf{r}_3, t_3)}_{\psi_{\alpha I}^\dagger(x_3) \psi_{\beta I}^\dagger(x_4) \psi_{\beta I}(x_4) \psi_{\alpha I}(x_3)}$$

$$\alpha x_3 \rightarrow x_3 \quad \beta x_4 \rightarrow x_4 \quad \sum_{\alpha} \int dx_3 \rightarrow \int dx_3 \equiv \int d^3$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dt_3 H_{1I}(t_3) = \frac{1}{2} \int d^3 \int d^4 U_{34} \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3$$

Teorema de Wick

Teorema de Wick: O valor esperado no estado fundamental **não-interagente** de uma sequência de operadores de criação e destruição na versão de interação é dado pela **soma de todas as contrações possíveis de pares**, onde cada termo tem o sinal de **+1 (-1)** de acordo com o número de transposições necessárias de operadores fermiônicos para ir da ordem inicial até a ordem final ser **par (ímpar)**.

Cada contração de um operador de destruição com um operador de criação (nessa ordem) é igual à **função de Green não-interagente**.

EXEMPLO:

$$\langle \Phi_0 | T [a_4^+ a_3^+ a_2 a_1] | \Phi_0 \rangle = \textcircled{1} + \textcircled{2}$$

NOTE-SE QUE SÓ HÁ CONTRAÇÕES ENTRE UM OP. DE DEST. E UM DE CRIAÇÃO.

$$\textcircled{1}: \langle \Phi_0 | T [a_2 a_3^+ a_1 a_4^+] | \Phi_0 \rangle = i G^{(0)}(2,3) \times i G^{(0)}(1,4)$$

$$\textcircled{2}: \langle \Phi_0 | T [a_2 a_4^+ a_1 a_3^+] | \Phi_0 \rangle (-1) = (-1) i G^{(0)}(1,3) i G^{(0)}(2,4)$$

APLICANDO O TEOREMA PARA:

$$i\theta(1,2) = \frac{\langle \Phi_0 | T [\tilde{U}_n(+\infty, -\infty) \Psi_{1F} \Psi_{2F}^\dagger] | \Phi_0 \rangle}{\langle \Phi_0 | T [\tilde{U}_n(+\infty, -\infty)] | \Phi_0 \rangle}$$

VAMOS FOCAR NO 1º TERMO \bar{n} -TRIVIAL ($n=1$) DO NUMERADOR:

$$iG^{(1N)}(1,2) = (-i) \frac{1}{2} \int d3d4 U_{34} \langle T [\psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3] \rangle_0$$

$$\begin{aligned} & \psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3 + \psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3 + \psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3 + \\ & \psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3 + \psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3 + \psi_1 \psi_2^\dagger \psi_3^\dagger \psi_4^\dagger \psi_4 \psi_3 = \end{aligned}$$

$$= iG_{12}^0 \left[-iG_{43}^{(0)} iG_{34}^{(0)} + iG_{44}^{(0)} iG_{33}^{(0)} \right] + iG_{13}^{(0)} \left[iG_{42}^{(0)} iG_{34}^{(0)} - iG_{44}^{(0)} iG_{32}^{(0)} \right]$$

$$iG_{14}^0 \left[-iG_{42}^{(0)} iG_{33}^{(0)} + iG_{43}^{(0)} iG_{32}^{(0)} \right]$$

$$iG^{(2N)}(1,2) = \frac{1}{2} \int d^3d^4 U_{34} \left[G_{12}^{(0)} (G_{42}^{(0)} G_{34}^{(0)} - G_{33}^{(0)} G_{44}^{(0)}) + \right. \\ \left. + G_{13}^{(0)} (G_{44}^{(0)} G_{32}^{(0)} - G_{42}^{(0)} G_{34}^{(0)}) + G_{14}^{(0)} (G_{42}^{(0)} G_{33}^{(0)} - G_{43}^{(0)} G_{32}^{(0)}) \right]$$

i) HÁ F.G. COM TEMPOS IGUAIS! $G_{33}^{(0)}$ E $G_{44}^{(0)}$ O QUE É ANBÍGUO: NOTAMOS QUE ELES SEMPRE VÊM DA INTERAÇÃO, ONDE CRIAÇÃO ESTÁ À ESQUERDA DE DESTRUIÇÃO:

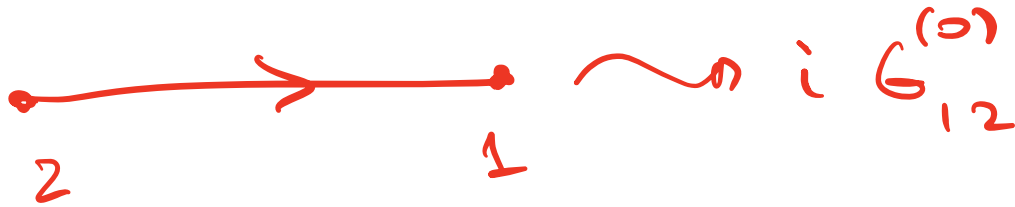
$$\Rightarrow G_{44}^{(0)} = G^{(0)}(\vec{\lambda}_4, t_4; \vec{\lambda}_4, t_4) \equiv \lim_{\eta \rightarrow 0^+} G^{(0)}(\vec{\lambda}_4, t_4; \vec{\lambda}_4, t_4 + \eta) \\ = -\frac{1}{i} \langle \mathbb{E}_0 | \psi^\dagger(\vec{\lambda}_4) \psi(\vec{\lambda}_4) | \mathbb{E}_0 \rangle = i M_\sigma(\vec{\lambda}_4) = i M_\sigma^{(0)} = i \frac{M}{2}$$

ii) OS DOIS ÚLTIMOS TERMOS SÃO IGUAIS SE PERMUTARMOS AS VARIÁVEIS MUDAS 3 E 4. MANTENDO APENAS UM DELES E ELIMINO O FATOR 1/2.

ESSE CANCELAMENTO DO $\frac{1}{2}$ SOBREVIVE EM ORDENS SUPERIORES EM TODOS OS TERMOS NOS QUAIS HA' CONTRAÇÃO DE ÍNDICE EXTERNO COM ALGUM ÍNDICE INTERNO.

iii) O PRIMEIRO TERMO \bar{n} TEM CONTRAÇÃO DOS ÍNDICES EXTERNOS COM ALGUM ÍNDICE INTERNO. ESSA ESTRUTURA ESPECIAL ESTÁ PRESENTE EM TODAS AS ORDENS, VEREMOS ADIANTE O QUE FAZER COM ELA.

TODOS OS TERMOS TÊM UMA FORMA QUE SUGERE
UMA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA:



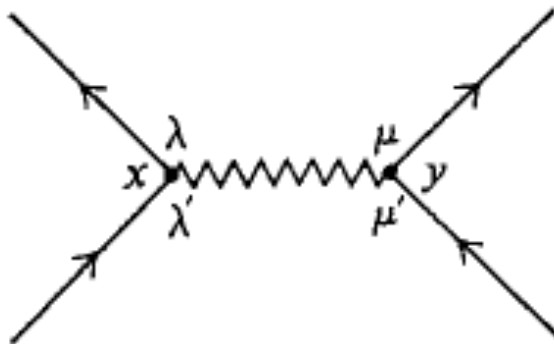
Elementos gráficos dos diagramas



$$\longrightarrow iG_{\alpha\beta}^{(0)}(x, y) = \langle T [\psi_{\alpha I}(x) \psi_{\beta I}^\dagger(y)] \rangle_0$$

GÁS DE ELÉTRONS:

$$\frac{1}{2V} \sum_{\vec{k}, \vec{k}', \vec{q}} V(\vec{q}) C_{\vec{k}+\vec{q}, \sigma}^\dagger C_{\vec{k}-\vec{q}, \sigma'}^\dagger C_{\vec{k}', \sigma'} C_{\vec{k}, \sigma}$$



$$-iU(x, y) \delta_{\lambda, \lambda'} \delta_{\mu, \mu'}$$

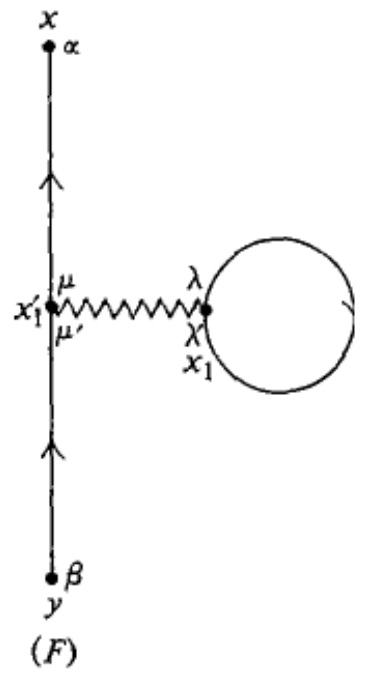
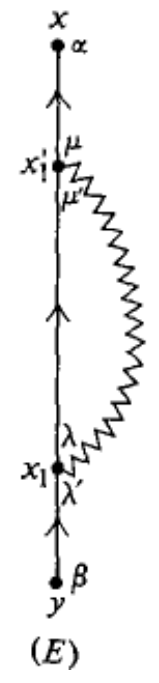
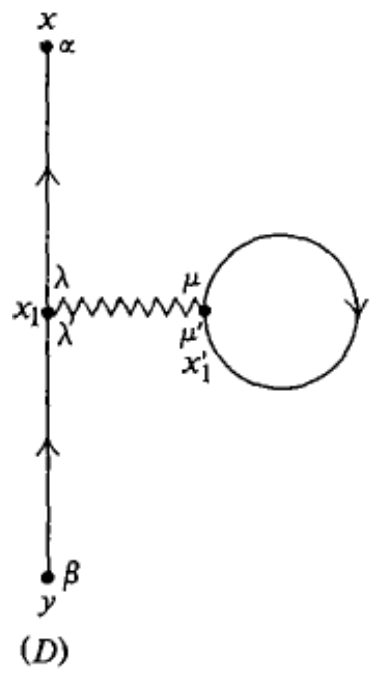
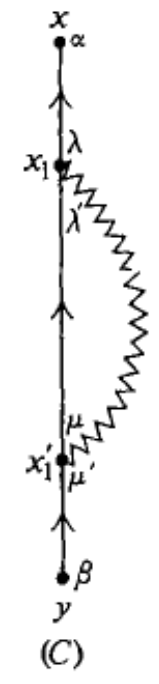
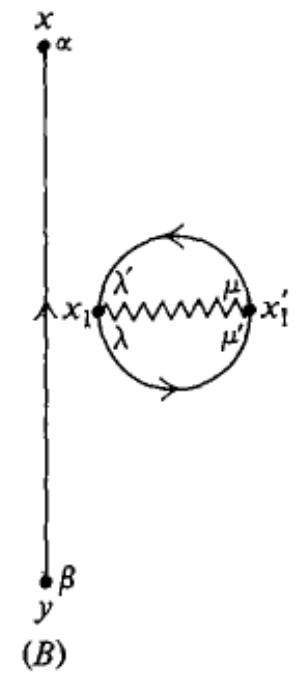
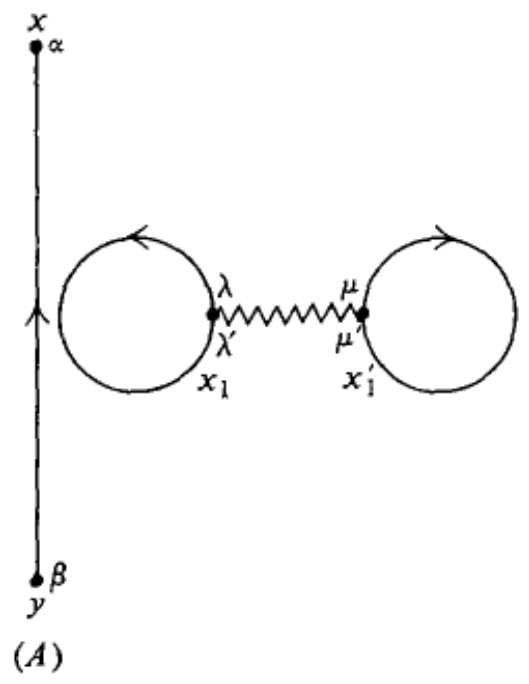


$$iG_{12}^{(1N)} = -\frac{1}{2} \left[\begin{array}{c} 1 \\ | \\ 2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 3 \\ \text{---} \\ 4 \end{array} \right] + \frac{1}{2} \left[\begin{array}{c} 1 \\ | \\ 2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 3 \\ \text{---} \\ 4 \end{array} \right] \left. \vphantom{G_{12}^{(1N)}} \right\} \begin{array}{l} \text{DIAGRAMAS} \\ \text{DESCONECTADOS} \end{array}$$

$$-\frac{1}{2} \left[\begin{array}{c} 1 \\ | \\ 3 \\ \text{---} \\ 4 \\ | \\ 2 \end{array} \right] - \frac{1}{2} \left[\begin{array}{c} 1 \\ | \\ 4 \\ \text{---} \\ 3 \\ | \\ 2 \end{array} \right] \left. \vphantom{G_{12}^{(1N)}} \right\} \begin{array}{l} \text{DIAGRAMAS} \\ \text{CONECTADOS} \end{array}$$

$$+\frac{1}{2} \left[\begin{array}{c} 1 \\ | \\ 4 \\ \text{---} \\ 3 \\ | \\ 2 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 \\ | \\ 3 \\ \text{---} \\ 4 \\ | \\ 2 \end{array} \right]$$

DIAGRAMAS DE FEYNMAN



$$\langle \Phi_0 | T [\tilde{U}_n(+\infty, -\infty)] | \Phi_0 \rangle = 1 + \frac{1}{2} \text{diagram 1} + \frac{1}{2} \text{diagram 2} +$$

$$+ \text{diagram 3} + \text{diagram 4} + \dots$$

PROVA-SE QUE ESSE TERMOS EM TODAS
 AS ORDENS CANCELAM OS DIAGRAMAS
 DESCONECTADOS.

Os diagramas desconectados

$$\tilde{G}_{\alpha\beta}(x,y) = \left[\begin{array}{c} \text{Diagram 1} \\ \text{Diagram 2} \\ \text{Diagram 3} \\ \text{Diagram 4} \\ \text{Diagram 5} \\ \text{Diagram 6} \\ \text{Diagram 7} \\ \text{Diagram 8} \\ \text{Diagram 9} \\ \text{Diagram 10} \\ \text{Diagram 11} \\ \text{Diagram 12} \\ \text{Diagram 13} \\ \text{Diagram 14} \\ \text{Diagram 15} \\ \text{Diagram 16} \\ \text{Diagram 17} \\ \text{Diagram 18} \\ \text{Diagram 19} \\ \text{Diagram 20} \\ \text{Diagram 21} \\ \text{Diagram 22} \\ \text{Diagram 23} \\ \text{Diagram 24} \\ \text{Diagram 25} \\ \text{Diagram 26} \\ \text{Diagram 27} \\ \text{Diagram 28} \\ \text{Diagram 29} \\ \text{Diagram 30} \\ \text{Diagram 31} \\ \text{Diagram 32} \\ \text{Diagram 33} \\ \text{Diagram 34} \\ \text{Diagram 35} \\ \text{Diagram 36} \\ \text{Diagram 37} \\ \text{Diagram 38} \\ \text{Diagram 39} \\ \text{Diagram 40} \\ \text{Diagram 41} \\ \text{Diagram 42} \\ \text{Diagram 43} \\ \text{Diagram 44} \\ \text{Diagram 45} \\ \text{Diagram 46} \\ \text{Diagram 47} \\ \text{Diagram 48} \\ \text{Diagram 49} \\ \text{Diagram 50} \\ \text{Diagram 51} \\ \text{Diagram 52} \\ \text{Diagram 53} \\ \text{Diagram 54} \\ \text{Diagram 55} \\ \text{Diagram 56} \\ \text{Diagram 57} \\ \text{Diagram 58} \\ \text{Diagram 59} \\ \text{Diagram 60} \\ \text{Diagram 61} \\ \text{Diagram 62} \\ \text{Diagram 63} \\ \text{Diagram 64} \\ \text{Diagram 65} \\ \text{Diagram 66} \\ \text{Diagram 67} \\ \text{Diagram 68} \\ \text{Diagram 69} \\ \text{Diagram 70} \\ \text{Diagram 71} \\ \text{Diagram 72} \\ \text{Diagram 73} \\ \text{Diagram 74} \\ \text{Diagram 75} \\ \text{Diagram 76} \\ \text{Diagram 77} \\ \text{Diagram 78} \\ \text{Diagram 79} \\ \text{Diagram 80} \\ \text{Diagram 81} \\ \text{Diagram 82} \\ \text{Diagram 83} \\ \text{Diagram 84} \\ \text{Diagram 85} \\ \text{Diagram 86} \\ \text{Diagram 87} \\ \text{Diagram 88} \\ \text{Diagram 89} \\ \text{Diagram 90} \\ \text{Diagram 91} \\ \text{Diagram 92} \\ \text{Diagram 93} \\ \text{Diagram 94} \\ \text{Diagram 95} \\ \text{Diagram 96} \\ \text{Diagram 97} \\ \text{Diagram 98} \\ \text{Diagram 99} \\ \text{Diagram 100} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{Diagram 101} \\ \text{Diagram 102} \\ \text{Diagram 103} \\ \text{Diagram 104} \\ \text{Diagram 105} \\ \text{Diagram 106} \\ \text{Diagram 107} \\ \text{Diagram 108} \\ \text{Diagram 109} \\ \text{Diagram 110} \\ \text{Diagram 111} \\ \text{Diagram 112} \\ \text{Diagram 113} \\ \text{Diagram 114} \\ \text{Diagram 115} \\ \text{Diagram 116} \\ \text{Diagram 117} \\ \text{Diagram 118} \\ \text{Diagram 119} \\ \text{Diagram 120} \\ \text{Diagram 121} \\ \text{Diagram 122} \\ \text{Diagram 123} \\ \text{Diagram 124} \\ \text{Diagram 125} \\ \text{Diagram 126} \\ \text{Diagram 127} \\ \text{Diagram 128} \\ \text{Diagram 129} \\ \text{Diagram 130} \\ \text{Diagram 131} \\ \text{Diagram 132} \\ \text{Diagram 133} \\ \text{Diagram 134} \\ \text{Diagram 135} \\ \text{Diagram 136} \\ \text{Diagram 137} \\ \text{Diagram 138} \\ \text{Diagram 139} \\ \text{Diagram 140} \\ \text{Diagram 141} \\ \text{Diagram 142} \\ \text{Diagram 143} \\ \text{Diagram 144} \\ \text{Diagram 145} \\ \text{Diagram 146} \\ \text{Diagram 147} \\ \text{Diagram 148} \\ \text{Diagram 149} \\ \text{Diagram 150} \\ \text{Diagram 151} \\ \text{Diagram 152} \\ \text{Diagram 153} \\ \text{Diagram 154} \\ \text{Diagram 155} \\ \text{Diagram 156} \\ \text{Diagram 157} \\ \text{Diagram 158} \\ \text{Diagram 159} \\ \text{Diagram 160} \\ \text{Diagram 161} \\ \text{Diagram 162} \\ \text{Diagram 163} \\ \text{Diagram 164} \\ \text{Diagram 165} \\ \text{Diagram 166} \\ \text{Diagram 167} \\ \text{Diagram 168} \\ \text{Diagram 169} \\ \text{Diagram 170} \\ \text{Diagram 171} \\ \text{Diagram 172} \\ \text{Diagram 173} \\ \text{Diagram 174} \\ \text{Diagram 175} \\ \text{Diagram 176} \\ \text{Diagram 177} \\ \text{Diagram 178} \\ \text{Diagram 179} \\ \text{Diagram 180} \\ \text{Diagram 181} \\ \text{Diagram 182} \\ \text{Diagram 183} \\ \text{Diagram 184} \\ \text{Diagram 185} \\ \text{Diagram 186} \\ \text{Diagram 187} \\ \text{Diagram 188} \\ \text{Diagram 189} \\ \text{Diagram 190} \\ \text{Diagram 191} \\ \text{Diagram 192} \\ \text{Diagram 193} \\ \text{Diagram 194} \\ \text{Diagram 195} \\ \text{Diagram 196} \\ \text{Diagram 197} \\ \text{Diagram 198} \\ \text{Diagram 199} \\ \text{Diagram 200} \end{array} \right]$$

$$\langle \Phi_0 | \hat{S} | \Phi_0 \rangle = 1 + \text{Diagram 201} + \text{Diagram 202} + \dots$$

Diagramas em 1a. ordem

