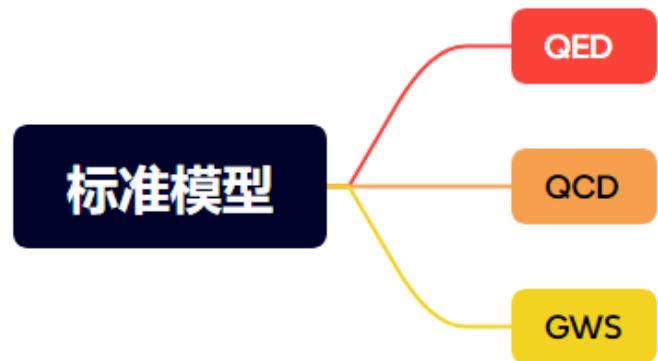
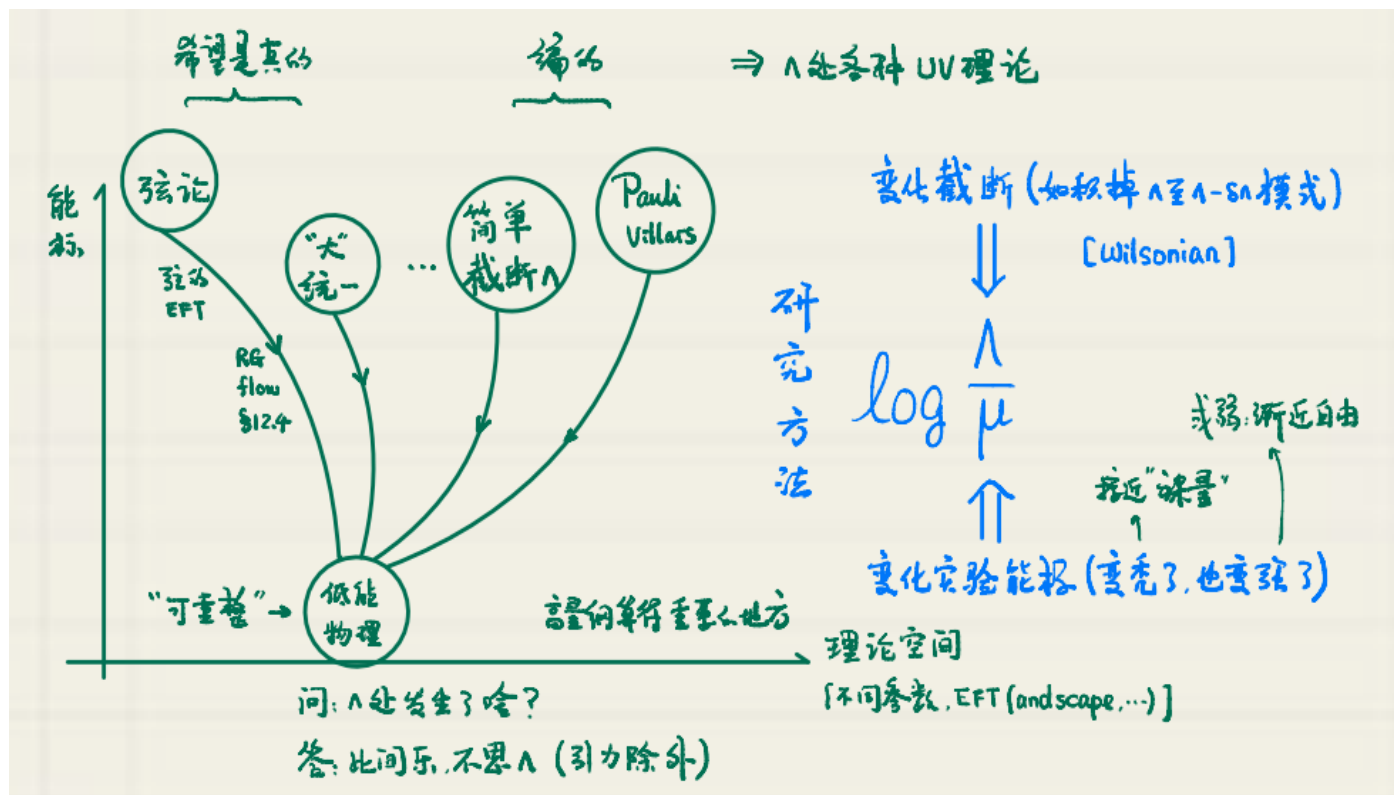


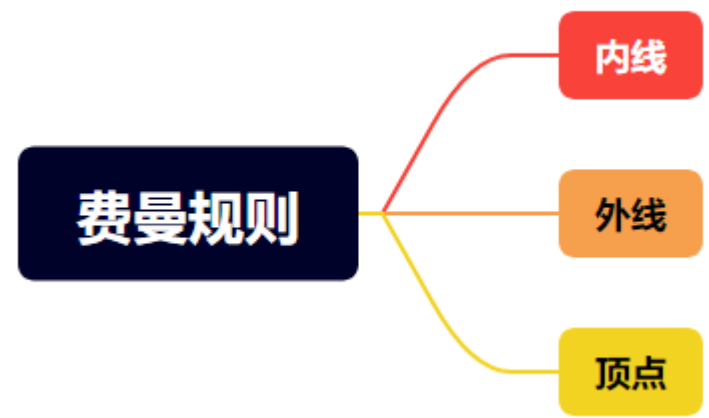
- 1. B介子理论**
- 2. 工作内容(旧)**
- 3. 新物理**
- 4. 附录**

B介子理论

历史上，人们对于基本理论的认识发生了根本性的变化，也逐渐地意识到，适用于某个能标的理论有可能是更高能标理论在**低能下的有效理论**

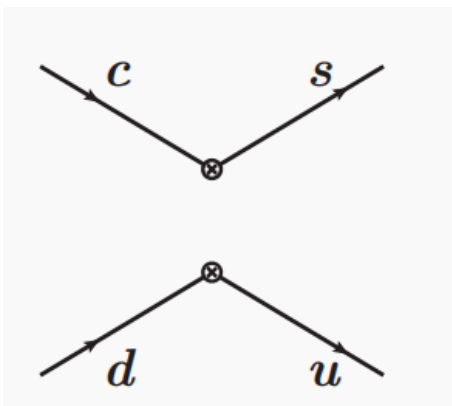
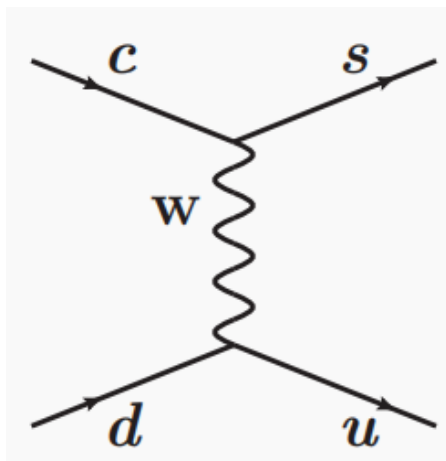


标准模型(SM)是可重整的理论



B介子理论

历史上，人们对于基本理论的认识发生了根本性的变化，也逐渐地意识到，适用于某个能标的理论有可能是更高能标理论在**低能下的有效理论**。



$$\begin{aligned} A_{full} &= -\frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cs}^* V_{ud} \frac{M_W^2}{k^2 - M_W^2} (sc)_{V-A} (ud)_{V-A} \\ &= \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cs}^* V_{ud} (\bar{s}c)_{V-A} (\bar{u}d)_{V-A} \cdot \frac{1}{1 - \frac{k^2}{M_W^2}} \\ &= \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cs}^* V_{ud} (\bar{s}c)_{V-A} (\bar{u}d)_{V-A} \cdot \left[1 + \frac{k^2}{M_W^2} + \frac{k^2^2}{M_W^2} + \dots \right] \\ &= \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cs}^* V_{ud} (\bar{s}c)_{V-A} (\bar{u}d)_{V-A} + \mathcal{O}(k^2/M_W^2), \end{aligned}$$

$$\mathcal{H}_{eff} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} V_{us}^* (\bar{s}u)_{V-A} (\bar{c}b)_{V-A} + \text{高量纲算符}$$



如果考虑到QCD单圈图修正，那么会可以将有效哈密顿量写成：

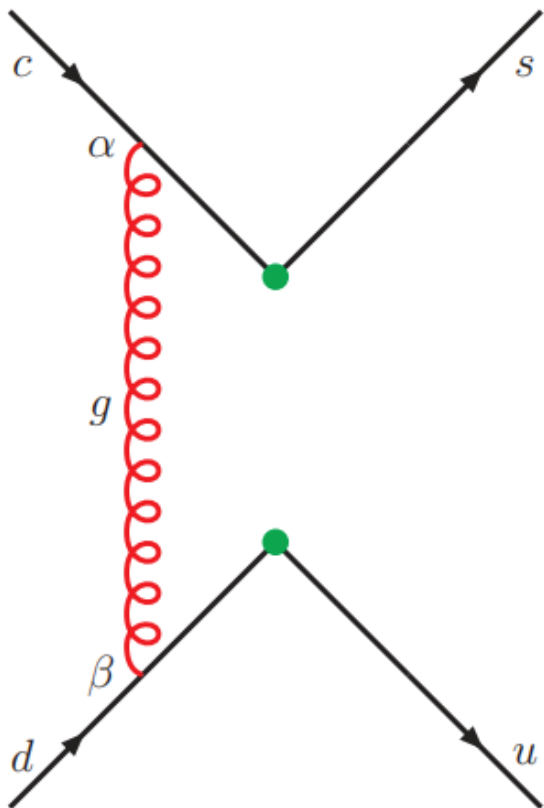
$$\mathcal{H}_{\text{eff}} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{ud} V_{cs}^* [C_1(\mu) O_1 + C_2(\mu) O_2]$$

算符如下：

$$O_2 = (\bar{s}_\alpha c_\alpha)_{V-A} (\bar{u}_\beta d_\beta)_{V-A},$$

$$O_1 = (\bar{s}_\alpha c_\beta)_{V-A} (\bar{u}_\beta d_\alpha)_{V-A}.$$

如何求解Wilson系数？



如何求解Wilson系数?

第一步: 在单圈水平计算完整的振幅 A_{full}

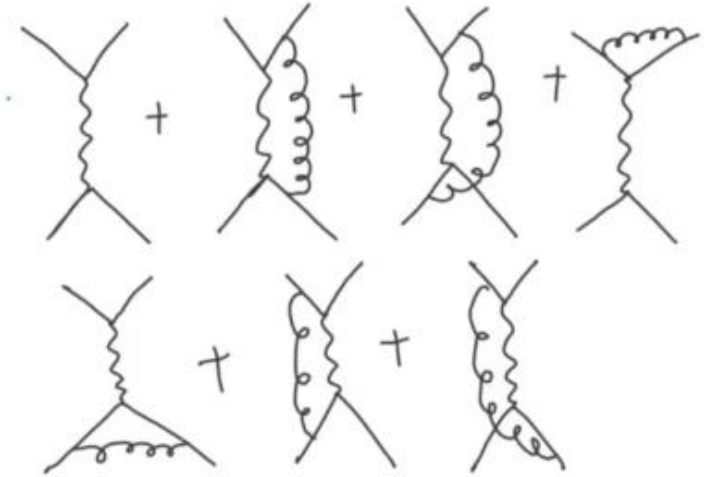
第二步: 在单圈水平计算振幅 A_{eff}

第三步: 通过匹配, 抽出Wilson系数

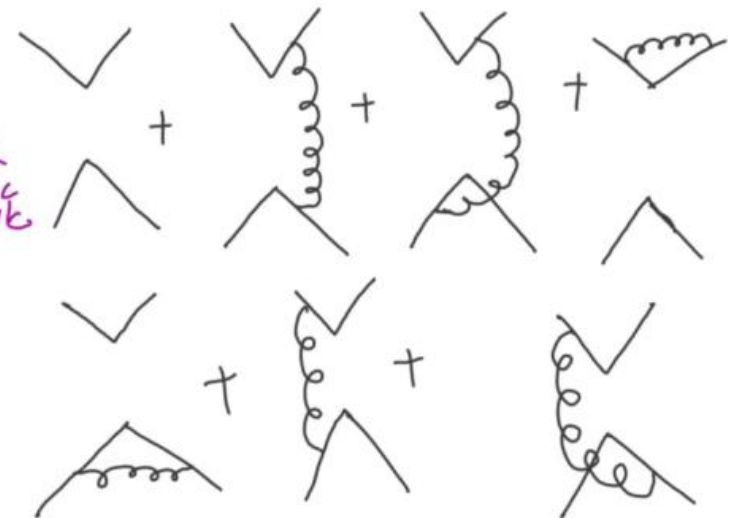
$$C_1(\mu) = -3 \frac{\alpha_s}{4\pi} \ln \frac{m_W^2}{\mu^2}, \quad C_2(\mu) = 1 + \frac{3}{N} \frac{\alpha_s}{4\pi} \ln \frac{m_W^2}{\mu^2}.$$

从计算的结果可以看出来, Wilson系数是与标度 μ 有关系的。从其他地方知道, Wilson系数是微扰可算的; 与具体的过程无关, 具有普适性; 短程相互作用贡献在Wilson系数中。

完整理论的74图.



有效理论



B介子理论

上面只是考虑了树图的结果，如果考虑单圈QCD修正和电弱贡献以后，有效哈密顿量可以写为：

$$\mathcal{H}_{eff} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \left\{ \sum_{i=1}^2 C_i(\mu) [V_{ub} V_{uq}^* O_i^u(\mu) + V_{cb} V_{cq}^* O_i^c(\mu)] - V_{tb} V_{tq}^* \sum_{i=3}^{10} C_i(\mu) O_i(\mu) \right\} + h.c.,$$

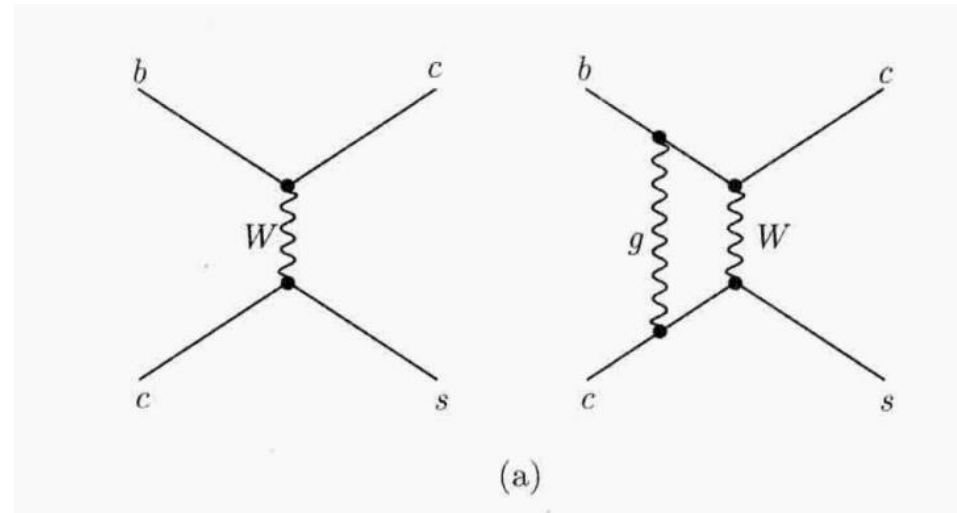
算符具体形式如下：树图算符：

$$O_1^u = (\bar{u}_\alpha b_\alpha) V-A (\bar{q}_\beta u_\beta) V-A,$$

$$O_2^u = (\bar{u}_\alpha b_\beta) V-A (\bar{q}_\beta u_\alpha) V-A,$$

$$O_1^c = (\bar{c}_\alpha b_\alpha) V-A (\bar{q}_\beta c_\beta) V-A,$$

$$O_2^c = (\bar{c}_\alpha b_\beta) V-A (\bar{q}_\beta c_\alpha) V-A,$$



B介子理论

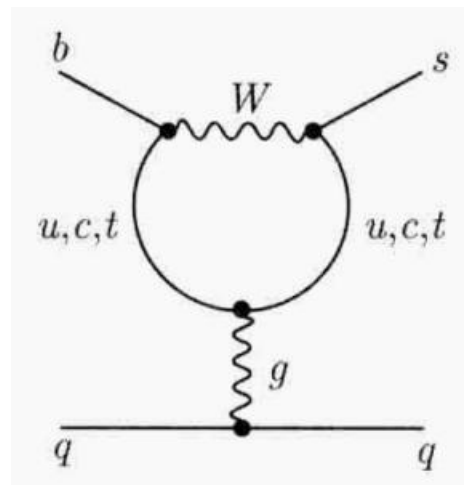
QCD企鹅图算符:

$$O_3 = (\bar{q}_\alpha b_\alpha)_{V-A} \sum_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\beta)_{V-A},$$

$$O_4 = (\bar{q}_\alpha b_\beta)_{V-A} \sum_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\alpha)_{V-A},$$

$$O_5 = (\bar{q}_\alpha b_\alpha)_{V-A} \sum_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\beta)_{V+A},$$

$$O_6 = (\bar{q}_\alpha b_\beta)_{V-A} \sum_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\alpha)_{V+A},$$



B介子理论

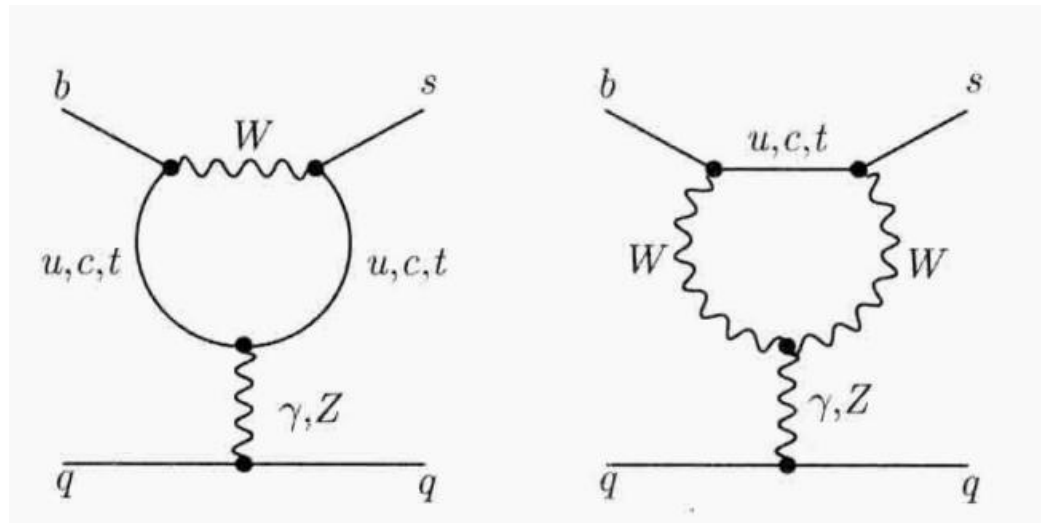
QED企鹅图算符

$$O_7 = (\bar{q}_\alpha b_\alpha)_{V-A} \sum_{q'} \frac{3}{2} Q_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\beta)_{V+A},$$

$$O_8 = (\bar{q}_\alpha b_\beta)_{V-A} \sum_{q'} \frac{3}{2} Q_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\alpha)_{V+A},$$

$$O_9 = (\bar{q}_\alpha b_\alpha)_{V-A} \sum_{q'} \frac{3}{2} Q_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\beta)_{V-A},$$

$$O_{10} = (\bar{q}_\alpha b_\beta)_{V-A} \sum_{-I} \frac{3}{2} Q_{q'} (\bar{q}'_\beta q'_\alpha)_{V-A},$$



1. 通过交换的粒子，可以知道，算符 O_1 和算符 O_2 是带电流，算符 O_3-O_{10} 是中性流算符

2. O_1, O_2 算符构成完备基， O_1-O_6 构成完备基， O_1-O_{10} 也是构成完备基

3. (V-A) 是左手流，(V+A) 是右手流，矢量流 V 可以拆解成左手流和右手流之和

在标准模型理论的框架下，B介子的两体弱作用强子衰变振幅可以写成：

$$\mathcal{A}(B \rightarrow M_1 M_2) = \langle M_1 M_2 | \mathcal{H}_{\text{eff}} | B \rangle = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \sum_i V_i C_i(\mu) \langle M_1 M_2 | O_i(\mu) | B \rangle$$

其中 V_i 是与具体衰变过程相对应的 CKM 矩阵元， $M_{1,2}$ 是两个末态强子， $C_i(\mu)$ 是 Wilson 系数，它们的表达式 (在 NLO 阶) 是已知的。这样， $B \rightarrow M_1 M_2$ 衰变过程的衰变振幅的计算就可以归结为哈密顿量中有效算符强子矩阵元 $\langle M_1 M_2 | O_i(\mu) | B \rangle$ 的计算。



- 1) 简单因子化的缺点是有标度的依赖性，真实的物理过程应该是与标度无关的。
- 2) QCD因子化是有端点发散的困难。为了解决端点发散，在PQCD方法中，引入了横向动量。
- 3) QCD因子化的详细内容可以看李新强教授去年的讲座。

B介子理论

$$\begin{pmatrix} S \otimes S \\ V \otimes V \\ T \otimes T \\ A \otimes A \\ P \otimes P \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 4 & -2 & 0 & -2 & -4 \\ 6 & 0 & -2 & 0 & 6 \\ -4 & -2 & 0 & -2 & 4 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S \otimes S \\ V \otimes V \\ T \otimes T \\ A \otimes A \\ P \otimes P \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} S \otimes P \\ V \otimes A \\ T \otimes T \\ A \otimes V \\ P \otimes S \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 4 & -2 & 0 & -2 & -4 \\ 6 & 0 & -2 & 0 & 6 \\ -4 & -2 & 0 & -2 & 4 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S \otimes P \\ V \otimes A \\ T \otimes T \\ A \otimes V \\ P \otimes S \end{pmatrix}$$

用MMA进行计算，可以得到下面的公式：

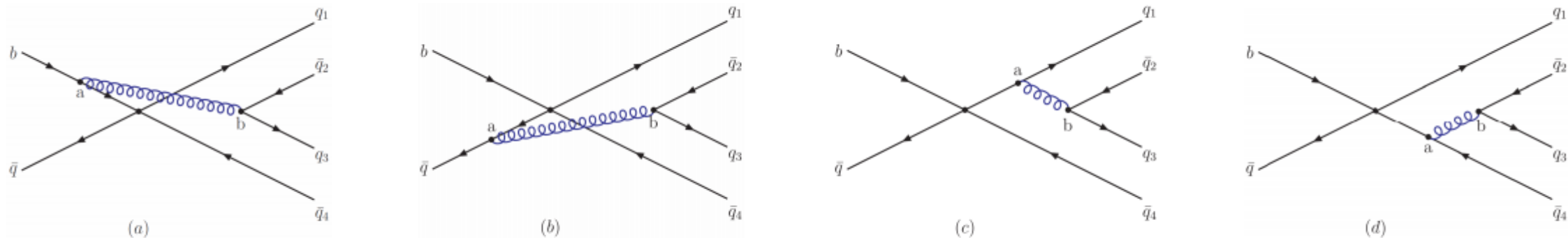
$$(V + A) \otimes (V - A) = 2(S + P)(S - P)$$

下面是常用的公式：

$$\begin{aligned} \bar{a}(V \pm A)b \cdot \bar{c}(V \pm A)d &= -\bar{a}(V \pm A)d \cdot \bar{c}(V \pm A)b, \\ \bar{a}(V - A)b \cdot \bar{c}(V + A)d &= 2\bar{a}(S + P)d \cdot \bar{c}(S - P)b, \\ \bar{a}(V + A)b \cdot \bar{c}(V - A)d &= 2\bar{a}(S - P)d \cdot \bar{c}(S + P)b, \\ \bar{a}Vb \cdot \bar{c}Vd + \bar{a}Ab \cdot \bar{c}Ad &= -(\bar{a}Vd \cdot \bar{c}Vb + \bar{a}Ad \cdot \bar{c}Ab) \end{aligned}$$

Fiertz重排改变流结构，计算出来的结果和《B介子物理学》书上差一个负号

工作内容(旧)



湮灭图贡献总共要计算四个图，三种流结构。对于 $(V - A) \otimes (V \pm A)$ 流和 $(-2)(S - P) \otimes (S + P)$ 流，初末态都有贡献，四张图都要算。

在四夸克算符中，同时存在 $(V - A) \otimes (V - A)$ 和 $(V - A) \otimes (V + A)$ 的流流相互作用。对于前者，做 Fiertz 变换后仍为 $(V - A) \otimes (V - A)$ 相互作用。对于后者，经 Fiertz 变换后得到 $(S - P) \otimes (S + P)$ 相互作用。加起来，总共有三种流结构。

■ 工作内容(旧)

动量的规定:

初态 B 介子动量 $P_B = l_1 + l_2 + k_1 + k_2$, 夸克动量 $p_b = (1 - \xi)P_B$, $p_{\bar{q}} = \xi P_B$;

末态 $M_1(q_3\bar{q}_4)$ 介子动量 l , $q_3 \sim l_1, \bar{q}_4 \sim l_2$; $l_1 = yl, l_2 = \bar{y}l$;

末态 $M_2(q_1\bar{q}_2)$ 介子动量 k , $q_1 \sim k_1, \bar{q}_2 \sim k_2$; $k_1 = xk, k_2 = \bar{x}k$;

$$P_B \cdot k = P_B \cdot l = k \cdot l = \frac{m_B^2}{2}; p_b \cdot k = p_b \cdot l = \frac{\xi m_B^2}{2}.$$

采用的投影算子形式:

$$M_B = -\frac{if_B}{4} [(P_B + m_B)\gamma_5][\Phi_{B_1}(\xi) + \not{n}_- \Phi_{B_2}(\xi)], \quad (1)$$

$$M_{P_1} = \frac{if_1}{4} [l\gamma_5\Phi_1(y) - \mu_1\gamma_5 \frac{l_2 \cdot l_1}{l_2 \cdot l_1} \varphi_1(y)], \quad (2)$$

$$M_{P_2} = \frac{if_2}{4} [k\gamma_5\Phi_2(x) - \mu_2\gamma_5 \frac{k_2 \cdot k_1}{k_2 \cdot k_1} \varphi_2(x)] \quad (3)$$

其中, $l = \frac{M_B}{2}n_-$, $k = \frac{M_B}{2}n_+$, $n_{\pm} = (1, 0, 0, \pm 1)$, $n_+ \cdot n_- = 2$.

工作内容(旧)

动量乘积的部分公式，
会放到MMA程序中，
作规则匹配：

$$\begin{aligned}q_1^2 - m_b^2 &= (p_b - k_2 - l_1)^2 - m_b^2 = -2p_b \cdot k_2 - 2p_b \cdot l_1 + 2k_2 \cdot l_1 \\ &= -\bar{\xi}\bar{x}m_B^2 - \bar{\xi}ym_B^2 + \bar{x}ym_B^2\end{aligned}$$

$$s_1^2 \cdot (q_1^2 - m_b^2) = \bar{x}y(-\bar{\xi}\bar{x} - \bar{\xi}y + \bar{x}y)m_B^4$$

$$p_B \cdot k = p_B \cdot l = k \cdot l = \frac{m_B^2}{2}; p_b \cdot k = p_b \cdot l = \frac{\bar{\xi}m_B^2}{2};$$

$$k \cdot q_1 = k \cdot (p_b - k_2 - l_1) = \bar{\xi}p_B \cdot k - yk \cdot l = \frac{\bar{\xi}}{2}m_B^2 - \frac{y}{2}m_B^2$$

$$k \cdot n_- = \frac{m_B}{2}n_+ \cdot n_- = m_B$$

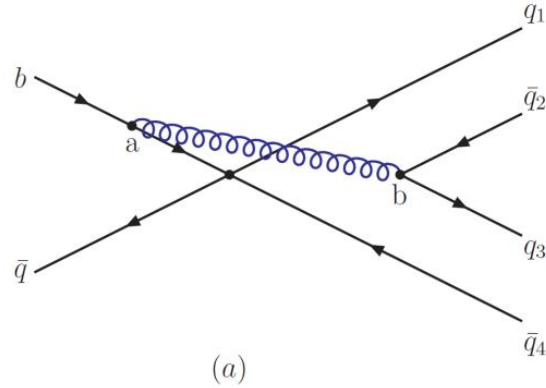
$$l \cdot q_1 = l \cdot (p_b - k_2 - l_1) = \bar{\xi}p_B \cdot l - \bar{x}k \cdot l - yl^2 = \frac{\bar{\xi}}{2}m_B^2 - \frac{\bar{x}}{2}m_B^2$$

$$l \cdot n_- = \frac{m_B}{2}n_- \cdot n_- = 0$$

$$n_- \cdot p_B = \frac{2}{m_B}l \cdot p_B = m_B$$

$$n_- \cdot q_1 = \frac{2}{m_B}l \cdot (p_b - k_2 - l_1) = \frac{2}{m_B}\left(\frac{\bar{\xi}m_B^2}{2} - \frac{\bar{x}m_B^2}{2}\right) = \bar{\xi}m_B - \bar{x}m_B$$

工作内容(旧)



根据费曼规则，写出振幅，下面是(a)图的振幅表达式

$$\mathcal{A}_a^i = \bar{q}\Gamma_1 \frac{i}{\not{q}_1 - m_b} (-ig_s \gamma_a) b \bar{q} q_3 (-ig_s \gamma_b) \bar{q}_2 q_1 \Gamma_2 \frac{-ig^{ab}}{s_1^2} \quad (19)$$

$$= -Tr\{M_B \Gamma_1 \frac{i}{\not{q}_1 - m_b} (-ig_s \gamma_a)\} \times (+) Tr\{M_{P_1} (-ig_s \gamma_b) M_{P_2} \Gamma_2 \frac{-ig^{ab}}{s_1^2}\} \quad (20)$$

$$= + \frac{if_b f_1 f_2}{4^3} \frac{g_s^2}{s_1^2 (q_1^2 - m_b^2)} Tr\{(\not{P}_B + m_B) \gamma_5 [\Phi_{B_1}(\xi) + \not{n}_- \Phi_{B_2}(\xi)] \Gamma_1 (\not{q}_1 + m_b) \gamma_a\} \times Tr\{[\not{l} \gamma_5 \Phi_1(y) - \mu_1 \gamma_5 \frac{l_2 \cdot l_1}{l_2 \cdot l_1} \varphi_1(y)] \gamma_a [\not{k} \gamma_5 \Phi_2(x) - \mu_2 \gamma_5 \frac{k_2 \cdot k_1}{k_2 \cdot k_1} \varphi_2(x)] \Gamma_2\} \quad (21)$$

■ 工作内容(旧)

$$(V - A) \otimes (V - A)$$

当取 $\Gamma_1 = \gamma_\mu(1 - \gamma_5)$, $\Gamma_2 = \gamma_\mu(1 - \gamma_5)$ 时,此时振幅记为 \mathcal{A}_a^+

在MMA中编写程序, 计算结果为:

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_a^+ = & \quad i f_B f_1 f_2 \pi \alpha_s \frac{1}{16 \bar{x} y (-\bar{\xi} \bar{x} - \bar{\xi} y + \bar{x} y) m_B^4} \{ \\ & - \Phi_{B_1}(\xi) \Phi_1(y) \Phi_2(x) 16 \{ m_B^4 (\bar{x} - \bar{\xi}) + m_b m_B^3 \} \\ & + \Phi_{B_2}(\xi) \Phi_1(y) \Phi_2(x) 32 \{ m_B^4 (\bar{x} - \bar{\xi}) + m_b m_B^3 \} \\ & + \Phi_{B_1}(\xi) \varphi_1(y) \varphi_2(x) \mu_1 \mu_2 64 \{ -\xi y \bar{x} m_B^2 + \bar{\xi} x \bar{y} m_B^2 - m_b m_B \} \\ & + \Phi_{B_2}(\xi) \varphi_1(y) \varphi_2(x) \mu_1 \mu_2 64 \{ 2 x m_B m_b - \bar{\xi} x m_B^2 \} \end{aligned}$$

■ 工作内容(旧)

$$(V - A) \otimes (V + A)$$

当取 $\Gamma_1 = \gamma_\mu(1 - \gamma_5)$, $\Gamma_2 = \gamma_\mu(1 + \gamma_5)$ 时,此时振幅记为 \mathcal{A}_a^-

在MMA中编写程序, 计算结果为:

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_a^- = & \quad i f_B f_1 f_2 \pi \alpha_s \frac{1}{16 \bar{x} y (-\bar{\xi} \bar{x} - \bar{\xi} y + \bar{x} y) m_B^4} \{ \\ & - \Phi_{B_1}(\xi) \Phi_1(y) \Phi_2(x) 16 \{ (y - \bar{\xi}) m_B^4 + m_b m_B^3 \} \\ & + \Phi_{B_2}(\xi) \Phi_1(y) \Phi_2(x) 16 \{ 0 \} \\ & + \Phi_{B_1}(\xi) \varphi_1(y) \varphi_2(x) \mu_1 \mu_2 64 \{ -\xi y \bar{x} m_B^2 + \bar{\xi} x \bar{y} m_B^2 - m_b m_B \} \\ & + \Phi_{B_2}(\xi) \varphi_1(y) \varphi_2(x) \mu_1 \mu_2 64 \{ m_B m_b + \xi \bar{x} m_B^2 \} \end{aligned}$$

■ 工作内容(旧)

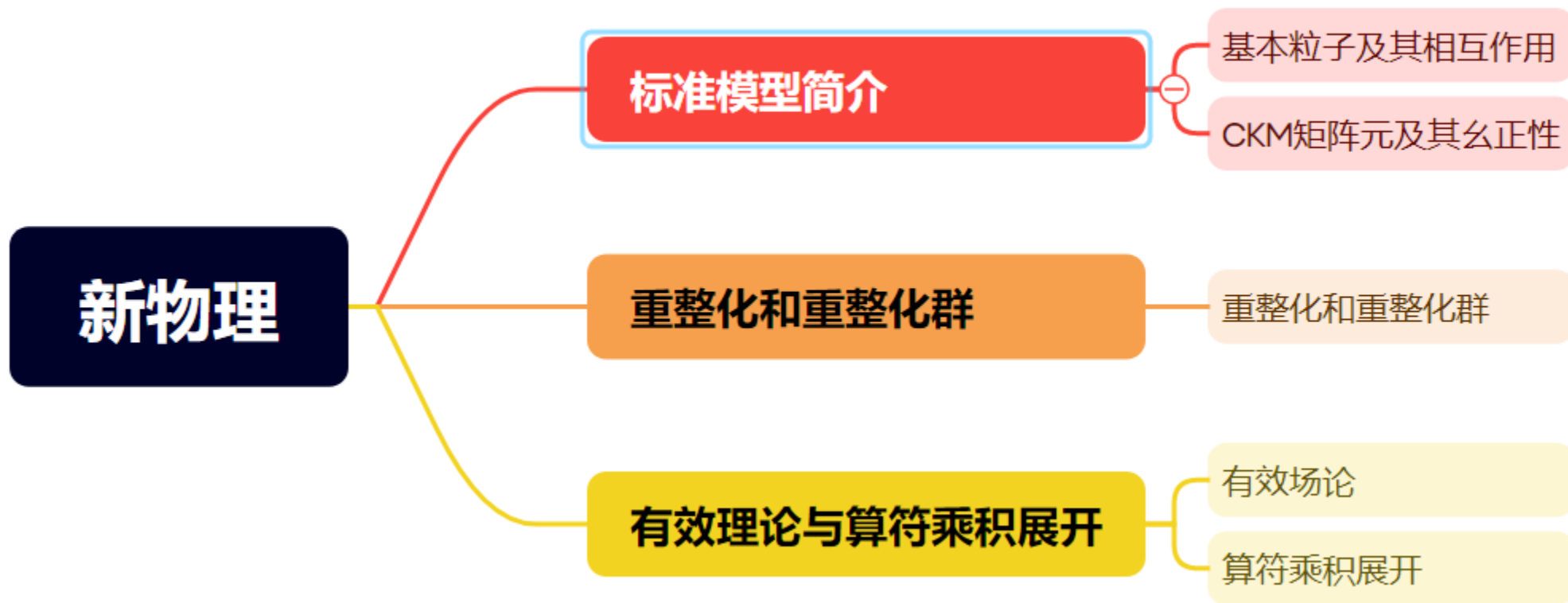
$$(S - P) \otimes (S + P)$$

当取 $\Gamma_1 = (1 - \gamma_5)$, $\Gamma_2 = (1 + \gamma_5)$ 时, 此时振幅记为 \mathcal{A}_a^3

在MMA中编写程序, 计算结果为:

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_a^3 = & \quad i f_B f_1 f_2 \pi \alpha_s \frac{1}{16 \bar{x} y (-\bar{\xi} \bar{x} - \bar{\xi} y + \bar{x} y) m_B^4} \{ \\ & + \Phi_{B_1}(\xi) \Phi_1(y) \varphi_2(x) \mu_2 16 \{-x m_b m_B^2 - \bar{\xi} x m_B^3\} \\ & + \Phi_{B_2}(\xi) \Phi_1(y) \varphi_2(x) \mu_2 32 \{\bar{\xi} x m_B^3\} \\ & + \Phi_{B_1}(\xi) \varphi_1(y) \Phi_2(x) \mu_1 16 \{\bar{y} m_b m_B^2 + \bar{\xi} \bar{y} m_B^3\} \\ & + \Phi_{B_2}(\xi) \varphi_1(y) \Phi_2(x) \mu_1 16 \{(x - \xi)(y - \bar{y}) m_B^3 - m_b m_B^2\} \end{aligned}$$

用同样的方式可以计算其他的3个图



上面是华中师范大学新物理的博士论文部分知识，以前大概看了一部分，和目前研究的方向有一点关系。

密度算符和密度矩阵（新物理的第一个知识点）

在量子力学中有两大类量子态，其中一类可以用态矢量 $|\psi\rangle$ 表示，这类量子态称为纯态 (pure state)。另外一种情况是，体系并不处于某个确定的纯态，而是以不同的概率处于不同的纯态 $|\psi\rangle$ ，这类量子态称为混合态 (mixed states)。混合态不能用态矢量表示，而要用所谓的密度算符 (density operator) 描述。

简单纯态的表达式： $|\psi\rangle = |\psi_1\rangle c_1 + |\psi_2\rangle c_2$

下面看混合态. 取一个更一般的混合态如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} |\psi_1\rangle: p_1, \\ |\psi_2\rangle: p_2, \\ \dots\dots\dots \end{array} \right. \quad \sum p_i = 1$$

参考喀兴林《高等量子力学》

求物理量 \hat{A} 在这个混合态中的平均值。在混合态中, 一个物理量求平均值, 要通过两次平均: 第一次是量子力学的平均, 求出 A 在每一个态 $|i\rangle$ 中的平均值, 第二次是统计物理的平均, 求出各量子平均以不同概率 P_i 出现时的平均, 即

$$\langle \hat{A} \rangle = \sum_i P_i \langle i | \hat{A} | i \rangle$$

$$\langle \hat{A} \rangle = \sum_i P_i \langle i | \hat{A} | i \rangle$$

$$\langle \hat{A} \rangle = \sum_i P_i (\langle i | \sum_k |k\rangle \langle k|) \hat{A} (\sum_{k'} |k'\rangle \langle k'|) |i\rangle$$

$$= \sum_{ikk'} P_i \langle k' | i \rangle \langle i | k \rangle \langle k | \hat{A} | k' \rangle$$

$$= \sum_{kk'} \langle k' | \sum_i (P_i |i\rangle \langle i|) |k\rangle \langle k | \hat{A} | k' \rangle$$

$$= \text{Tr}(\hat{\rho} A)$$

其中 $\hat{\rho} = \sum_i P_i |i\rangle \langle i|$ 是密度算符
 $\rho_{kk'} = \langle k' | \hat{\rho} | k \rangle$ 是密度矩阵元



谢谢大家!

1. 南京大学《粒子物理》：基础，详细，易读。
2. 推导费曼规则：**《凡人看得懂的量子场论》** 这本书写到比较好，有比较详细的费曼规则推导过程，缺点是内容太少。可以到知乎上搜索。
3. 黄涛有一系列的量子场论书籍：《量子场论导论 第二版》，《量子色动力学导引》，《量子色动力学专题》。
4. 场论翻译版本：peskin《量子场论导论》，温伯格《量子场论》王一老师有比较详细的讲解。徐一鸿的量子场论科普书《果壳中的量子场论》
5. B站搜索：量子场论线上课程，会有中山大学《量子场论》视频，余老师的github上有讲义，是QFT中保姆级教程

6.复旦大学规范场论视频：B站搜索QFTII

7.可以用FastStone Capture这个软件，截取网页内容存为PDF

8.PotPlayer可以快速截取视频图片，导入到OneNote中，可以在图片上记笔记

链接：

https://pan.baidu.com/s/1H_LUBZDmKMgnRmibGX39_g?pwd=kui8

提取码：kui8