ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՖԱԿՈՒԼՏԵՏ

ԱԿԱԴԵՄԻԿՈՍ Գ. ՍԱՀԱԿՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ
ՏԵՍԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԱՄԲԻՈՆ

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԿՐԹԱԿԱՆ ԾՐԱԳԻՐ

ՍԵՐԳԵՅ ԹՈՒՄԱՍՅԱՆ ԱԼԲԵՐՏԻ

Մագիստրոսական թեզ

ԲԱՐՁՐ ԿԱՐԳԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՈՒՂՂՈՒՄՆԵՐ ՆԵՅՏՐԱԼ B ՄԵԶՈՆԱՅԻՆ ՕՍՑԻԼԻԱՑԻԱՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

« ՏԵՍԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ և ԲԱՐՁՐԱԳՈՒՅՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ »

մասնագիտությամբ

Ֆիզիկայի մագիստրոսի որակավորման

աստիճանի հայցման համար

ԵՐԵՎԱՆ 2020

Ուսանող՝ ________________________

ստորագրություն

Թումասյան Սերգեյ

ազգանուն, անուն

Ղեկավար՝ ________________________ *[13 pt, Bold, Italic]*

ստորագրություն

Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Հրաչյա Ասատրյան

գիտ. աստիճան, կոչում, ազգանուն, անուն

«Թույլատրել պաշտպանության»

Ամբիոնի վարիչ՝ ________________________

ստորագրություն

Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Արամ Սահարյան

գիտ. աստիճան, կոչում, ազգանուն, անուն

«_____»___________20___թ.

ԲԱՐՁՐ ԿԱՐԳԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՈՒՂՂՈՒՄՆԵՐ ՆԵՅՏՐԱԼ B ՄԵԶՈՆԱՅԻՆ ՕՍՑԻԼԻԱՑԻԱՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Higher order QCD corrections for neutral B-meson oscillations

КХД поправки высшего порядка для осцилляции нейтрального B-мезона

Աշխատանքում կատարվել է առաջին քայլը Ստանդարտ Մոդելի շրջանակներում հաջորդը-հաջորդը առաջատարի նկատմամբ (NNLO) քվանտաքրոմոդինամիկական ուղղումների հաշվարկ B_q-$\overline{B_q}$ (q=s,d) համակարգի CP խախտման համար: Մասնավորապես մենք գնահատել ենք $a_s^2 N_f$ կարգի պինգվինային դիագրամների ներդրումը a_{fs}^q-ի մեջ B_q-$\overline{B_q}$ համակարգի համար, $a_s^2 N_f$ և a_s^1-ի կարգի պինգվինային ներդրումները համեմատելով:

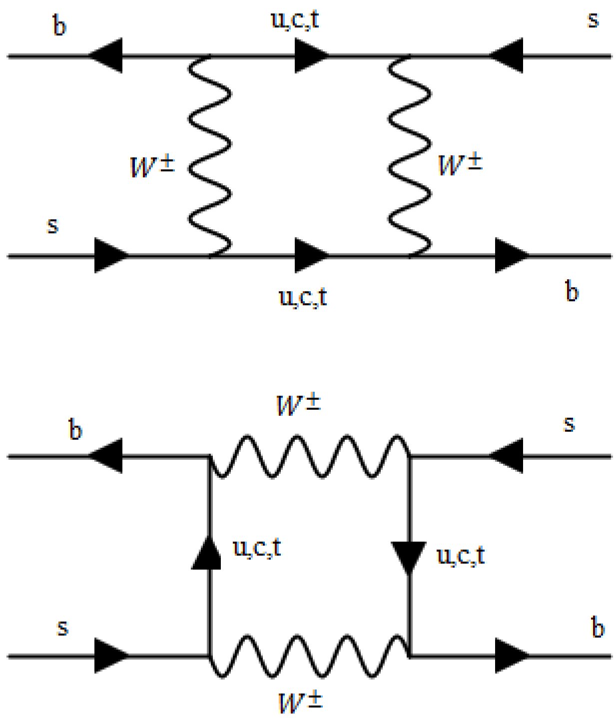
ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Մեր օրերում բարձր էներգիաների ֆիզիկայում կատարվող փորձերը հնարավորություն են տալիս մեծ ճշտությամբ ստուգել էլեկտրաթույլ, ուժեղ փոխազդեցության տեսությունները, հայտնաբերել նոր ֆիզիկա մասնիկների ֆիզիկայում: Բացի փորձերի մեծ ճշտությամբ ունեցած տվյալներից, շատ կարևոր են տեսականորեն կատարված աշխատանքները, որոնց արդյունքները հնարավոր կլինի համեմատել փորձի տվյալների հետ:

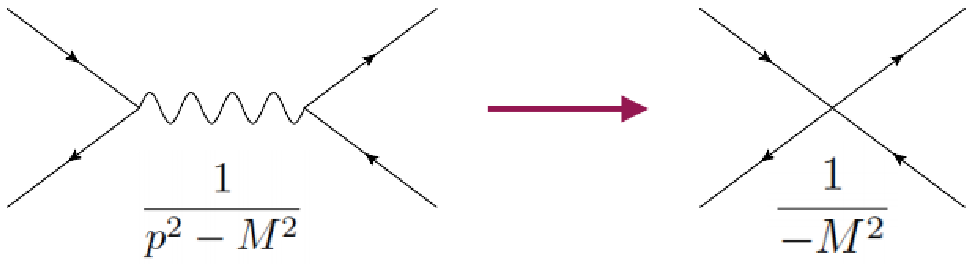
Այս աշխատանքում դիտարկելու ենք B_s մեզոնային օսցիլիացիաներ: B_s մեզոնային օսցիլիացիաների ժամանակ խախտվում է CP սիմետրիան: CP ասիմետրիայի և հաշվարկը նույնպես կարևոր է Ստանդարտ մոդելի և ստանդարտ մոդելից դուրս տեսությունների ստուգման համար: B_s մեզոնային օսցիլիացիաների ուսումնասիրությունը մեզ հնարավորություն է տալիս CKM մատրիցայի պարամետրերի ավելի ճշգրիտ հաշվարկ կատարել:

Օսցիլիացիաները ինչպես գիտենք նկարագրվում են box դիագրամներով նկ.(1) :



Նկ. 1. B_s մեզոնային օսցիլիացիաների box դիագրամ,

W բոզոնը ծանր մասնիկ է, և շատ պրոցեսներում որտեղ որ ինքը մասնակցում է, տեղի ունի M>>p պայմանը, որտեղ M-ը W բոզոնի զանգվածն է, իսկ p-ն համեմատաբար թեթև քվարքների (u,d,s,c,b) իմպուլսը: Դա հաշվի առնելով , հնարավոր է Օսցիլիացիաները նկարագրող Համիլտոնիանից անցնել Էֆֆեկտիվ Համիլտոնյանի՝ H_{eff}, նկ2.



$$\frac{1}{p^2 - M^2} = \frac{1}{-M^2}\left[1 + \left(\frac{p^2}{M^2}\right) + \left(\frac{p^2}{M^2}\right)^2 + \cdots\right]$$

Նկ. 2. W բոզոնի պրոպագատորի հայտարարի ձևափոխությունը էֆֆեկտիվ Համիլտոնյանի անցնելիս:

H_{eff}-ի մեջ W բոզոնային պրոպագատորը դառնում է <<կետ>>, այն հանդես է գալիս Վիլսոնի գործակիցների տեսքով: Մեր դիտարկվող խնդրի համար H_{eff}-ը ունի հետևյալ տեսքը՝

$$H_{eff}=\frac{G_F}{\sqrt{2}}\{(\lambda_c + \lambda_u)\{\textstyle\sum_{i=3}^{6} C_i O_i + C_8 O_8\}+\{\sum_{i=3}^{6} C_i(\lambda_u O_i^u + \lambda_c O_i\}+H.C. : \qquad (1.1)$$

Որտեղ ՝

$$O_1^u=\overline{(s_\imath}u_j)_{(V-A)}\ \overline{(u_\jmath}b_i)_{(V-A)}, \qquad O_2^u=(\overline{s_\imath}u_i)_{(V-A)}(\overline{u_\jmath}b_j)_{(V-A)},$$

$$O_1=\overline{(s_\imath}c_j)_{(V-A)}\ \overline{(c_\jmath}b_i)_{(V-A)}, \qquad O_2=(\overline{s_\imath}c_i)_{(V-A)}(\overline{u_\jmath}c_j)_{(V-A)},$$

$$O_3=\overline{(s_\imath}b_i)_{(V-A)}\ \overline{(q_\jmath}q_j)_{(V-A)}, \qquad O_4=\overline{(s_\imath}b_j)_{(V-A)}\ \overline{(q_\jmath}q_i)_{(V-A)}, \qquad (1.2)$$

$$O_5=\overline{(s_\imath}b_i)_{(V-A)}\ \overline{(q_\jmath}q_j)_{(V+A)}, \qquad O_6=\overline{(s_\imath}b_j)_{(V-A)}\ \overline{(q_\jmath}q_i)_{(V+A)}),$$

$$O_8=\frac{g_s}{(8\pi)^2} m_b \overline{s_i} \sigma^{\mu\nu}(1-\gamma_5) T_{ij}{}^{a} b_j G^{a}{}_{\mu\nu},$$

որտեղ V-A=$\gamma_\mu(1-\gamma_5)$: որտեղ $V_{cs}{}^{*}V_{cb}$-ը Cabibbo-Kobayashi-Maskava մատրիցայի անդամներն են: C_i-երը Վիլսոնի գործակիցներն են, O_i-երը՝ օպերատորները:

B_s-$\overline{B_s}$ խառնումը բնութագրվում է 2×2 Էրմիտական մատրիցայի միջոցով՝ M-i$\frac{\Gamma}{2}$: Խառնման խնդիրը իր մեջ պարունակում է $M=\frac{M_L+M_H}{2}$, $\Gamma=\frac{\Gamma_L+\Gamma_H}{2}$: $\Delta M=M_H-M_L$, $\Delta\Gamma=\Gamma_H-\Gamma_L$:

CP ասիմետրիան որոշվում է՝

$$a_{fs}{}^{q}=\frac{\Gamma(\overline{B_q}(t)\to f)-\Gamma(B_q\to\bar{f})}{\Gamma(\overline{B_q}(t)\to f)+\Gamma(B_q\to\bar{f})}=\mathrm{Im}\frac{\Gamma_{12}}{M_{12}}\quad (**):$$

Γ_{12}-ը հաշվվում է հետևյալ կերպ՝

$$\Gamma_{12}=\mathrm{Abs}\langle B_s|\int d^4x\, T\, H_{eff}(x)\, H_{eff}(0)|\overline{B_s}\rangle, \qquad (1.3)$$

Abs-ով նշանակում է տվյալ մատրիցական տարրի կլանող մասը, T–ն ժամանա-կային խրոնոլոգիական կարգավորիչն է: Γ_{12}-ը կարող ենք ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքով՝ [1]

$\Gamma_{12}=-\lambda_t^2[\Gamma_{12}^{cc}+2\frac{\lambda_u}{\lambda_t}(\Gamma_{12}^{cc}-\Gamma_{12}^{uc})+\frac{\lambda_u^2}{\lambda_t^2}(\Gamma_{12}^{cc}+\Gamma_{12}^{uu}-2\Gamma_{12}^{uc})$, որտեղ Γ_{12}^{ab}-ն դրական է (a,b=u,c,t) (1.4):

Ըստ $\frac{\Lambda_{QCD}}{m_b}$-ի (1.4) –ը վերլուծելով շարքի, Γ_{12}^{ab}-ի առաջին անդամի համար կարող ենք գրել՝

$$\Gamma_{12}^{ab}=\frac{G_f^2 m_b^2}{24\pi M B_s}[G^{ab}\langle B_s|Q|\overline{B_s}\rangle-G_S^{ab}\langle B_s|Q_S|\overline{B_s}\rangle \qquad (1.5)$$

Որտեղ՝

$$Q=(\overline{s_i}b_i)_{(V-A)}(\overline{s_j}b_j)_{(V-A)},\quad Q_S=(\overline{s_i}b_j)_{(S-P)}(\overline{s_j}b_i)_{(S-P)},\quad a_{(S-P)}=a(1-\gamma_5), \qquad (1.6)$$

Ստանդարտ մոդելի շրջանակներում կանխատեսվում է, որ՝ [2]

$a_{fs}{}^{d,SM}=(-4{,}73\pm0{,}42)\times10^{-4}$, $a_{fs}{}^{s,SM}=(2{,}06\pm0{,}18)\times10^{-5}$

Իսկ էքսպերեմենտալ տվյալները հետևյալն են՝

$a_{fs}{}^{d,Exp}=(-21\pm17)\times10^{-4}$, $a_{fs}{}^{s,Exp}=(60\pm280)\times10^{-5}$

ՊԱՍԱՐԻՆՈ ՎԵԼՏՄԱՆԻ ԱՌՆՉՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ֆեյնմանի դիագրամներ հաշվելիս առաջանում են բազմաթիվ մաթեմատիկական դժվարություններ: Օղակ պարունակող դիագրամներում հաշվարկներ անելիս Պասարինո-Վելտմանի առնչությունները տեխնիկապես հեշտացնում են հաշվարկները: Առնչությունների սկզբունքին կծանոթանանք ստորև:

Դիցուք ունենք հետևյալ տեսքի ինտեգրալ՝ $\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)}$: (2.1)

k^a-ն օղակի մեջ պտտվող քվարկի իմպուլսի բաղադրիչ է: Քանի որ ինտեգրումը կատարվում է ըստ k-ի , ակնհայտ է ինտեգրալի պատասխանը կախված է լինեու p_b-ից: Պատասխանը գրենք հետևյալ տեսքով՝

$$\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = X^* {p_b}^a \quad (2.2)$$

X-ը գտնելու համար հավասարման երկու կողմերը բազմապատկենք p_a-ով: ${p_b}_a \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a}{\left((k-p_b)^2-m_c{}^2\right)(k^2-m_c{}^2)} = X^* {p_b}^a {p_b}_a$: Նկատենք , որ $p^a p_a = p^2 = m_b{}^2$:

$p_a \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a}{\left((k-p_b)^2-m_c{}^2\right)(k^2-m_c{}^2)} = X m_b{}^2$: Քանի որ ինտեգրումը կատարվում է ըստ k-ի, մենք կարող ենք ${p_b}_a$-ն մտցնել ինտեգրման նշանի տակ:

$$X = \frac{1}{m_b{}^2} p_a \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a}{\left((k-p_b)^2-m_c{}^2\right)(k^2-m_c{}^2)} = \frac{1}{m_b{}^2}\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a {p_b}_a}{\left((k-p_b)^2-m_c{}^2\right)(k^2-m_c{}^2)} \quad (2.3)$$

X-ի ստացված արժեքը տեղադրենք (1) հավասարման մեջ:

$$\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^a}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = \frac{1}{m_b{}^2} p^a \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{(kp_b)}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} \quad (2.4)$$

(3) հավասարումից տեսնում ենք, որ երբ (1) հավասարման մեջ ինտեգրման համարիչում վեկտորական մեծություն էր, մենք այն փոխարինեցինք սկալյար մեծությամբ: Սա Պասարիո-Վելտմանի առնչություններից մեկն է: .

Դիտարկենք մեկ այլ ինտեգրալ՝

$$\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^{\alpha}k^{\beta}}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} \tag{2.5}$$

Այս ինտեգրալը համեմատական կլինի արդեն արտաքին իմպուլսի $p^{\alpha}p^{\beta}$ արտադրյալին և մետրիկական թենզորին՝ $g^{\alpha\beta}$:

$$\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^{\alpha}k^{\beta}}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = \mathrm{A}p^{\alpha}p^{\beta} + \mathrm{B}g^{\alpha\beta} : \tag{2.6}$$

A-ն և B-ն գտնելու համար հավասարման երկու կողմը բազմապատկենք $p^{\alpha}p^{\beta}$-ով և $g^{\alpha\beta}$-ով, այնուհետև երկու հավասարումների համակարգից գտնենք A-ն և B-ն:

$$p_{b_\alpha}p_{b_\beta} \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^{\alpha}k^{\beta}}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = \mathrm{A}p_{b_\alpha}p_{b_\beta}p_b{}^{\alpha}p_b{}^{\beta} + \mathrm{B}p_{b_\alpha}p_{b_\beta}g^{\alpha\beta}$$

$$\mathrm{A}p_b{}^4 + \mathrm{B}p_b{}^2 = p_{b_\alpha}p_{b_\beta} \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^{\alpha}k^{\beta}}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{(pk)^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)}$$

$$\mathrm{Am_b}^4 + \mathrm{Bm_b}^2 = \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{(p_bk)^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} \tag{2.7}$$

$$g_{\alpha\beta} \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^{\alpha}k^{\beta}}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = \mathrm{A}g_{\alpha\beta}p_b{}^{\alpha}p_b{}^{\beta} + \mathrm{B}g_{\alpha\beta}g^{\alpha\beta} \qquad (g_{\alpha\beta}g^{\alpha\beta} = d)$$

$$\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} = \mathrm{A}p_b{}^2 + \mathrm{B}d$$

(2.7) բանաձևից $\mathrm{B} = \frac{1}{d} \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} - \mathrm{A}\frac{\mathrm{m_b}^2}{d}$ (2.8)

B-ն տեղադրենք (2.7) ի մեջ:

$$\mathrm{Am_b}^4 + \frac{\mathrm{m_b}^2}{d} \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} - \mathrm{A}\frac{\mathrm{m_b}^4}{d} = \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{(p_bk)^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} \tag{2.9}$$

այստեղից որոշենք A-ն:

$$\mathrm{A} = \frac{1}{\mathrm{m_b}^4} \left(\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{(p_bk)^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} - \frac{\mathrm{m_b}^2}{d} \int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} \right) \frac{d}{d-1} \tag{2.10}$$

A-ն տեղադրենք (2.8) ի մեջ:

$$\mathrm{B} = \frac{1}{d} \left(\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} - \left(\frac{1}{\mathrm{m_b}^2} \left(\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d} \frac{(p_bk)^2}{((k-p_b)^2-m_c{}^2)(k^2-m_c{}^2)} - \right.\right.\right.$$

$$\frac{\mathrm{m_b}^2}{d}\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)}\Bigg)\frac{d}{d-1}\Bigg)\Bigg) \tag{2.11}$$

(2.10) , (2.11) բանաձևերը տեղադրենք (2.5) բանաձևի մեջ ։

$$\frac{p^\alpha p^\beta}{\mathrm{m_b}^4}\Bigg(\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{(p_bk)^2}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)}-\frac{\mathrm{m_b}^2}{d}\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)}\Bigg)\frac{d}{d-1}+$$

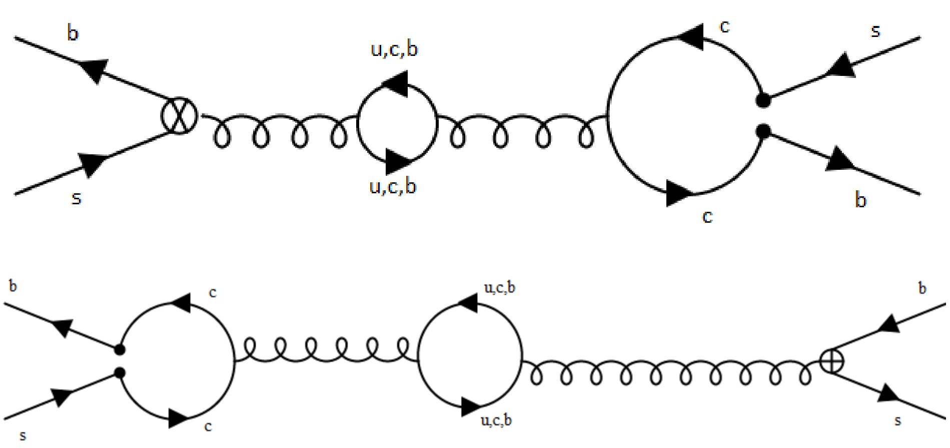
$$\frac{g^{\alpha\beta}}{d}\Bigg(\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)}-\Bigg(\frac{1}{\mathrm{m_b}^2}\Bigg(\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{(p_bk)^2}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)}-$$

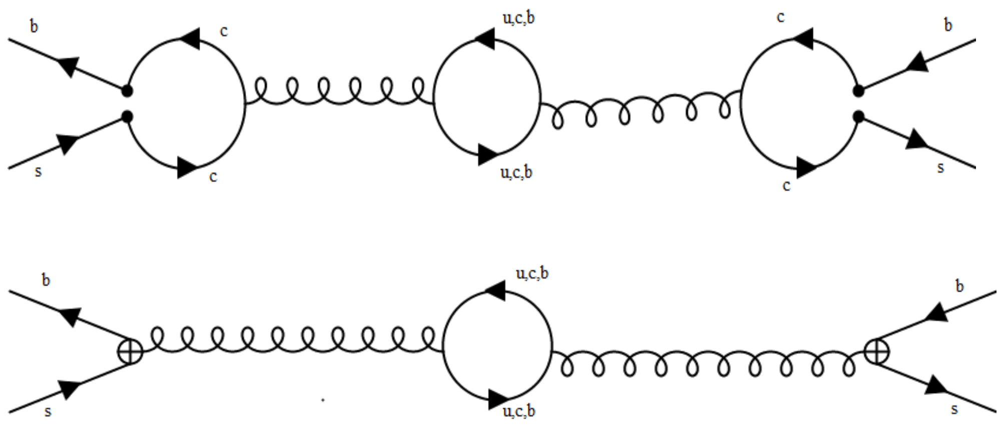
$$\frac{\mathrm{m_b}^2}{d}\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^2}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)}\Bigg)\frac{d}{d-1}\Bigg)\Bigg)=\int\frac{d^dk}{(2\pi)^d}\frac{k^\alpha k^\beta}{((k-p_b)^2-m_c^2)(k^2-m_c^2)} \tag{2.12}$$

Այստեղ ևս ինտեգրալի մեջ վեկտորները կարողացանք փոխարինել սկալյարով: Այս առընչությունները կոչվում են Պասսարիո Վելտմանի առնչություններ:

ՄԵԿՕՂԱԿԱՆԻ ԴԻԱԳՐԱՄՆԵՐԻ ԿԵՂԾ ՄԱՍԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ստանդարտ Մոդելի շրջանակներում CP Ասիմետրիայի ուսումնասիրման համար կարևոր դեր են խաղում պինգվին դասի դիագրամները (Նկ. 3).: Պինգվին դասի մեկօղականի դիագրամներից կդիտարկենք առաջին երկուսը:





նկ. 3 պինգվին դասի դիագրամ, առաջին օպերատորը O8 օպերատերն է, երկրորդը O2-ն է: Օղակի մեջ ընդհանուր դեպքում կարող են ներդրում տալ b,d,s,c,u քվարկները: , Սակայն u,d,s քվարկների ներդրումը նույնն է, քանի որ զանգվածները շատ փոքր են:

Ֆեյնմանի կանոնների համաձայն կունենանք հետևյալը՝

$$\int \frac{d^d k_1}{(2\pi)^d} \bar{b}(\text{-i})\frac{1}{{p_b}^2} m_b(\Upsilon^{\mathrm{a}}(p^\beta,\gamma_\beta)\text{-}(p^\beta,\gamma_\beta)\,\Upsilon^{\mathrm{a}})(1\text{-}\gamma_5)s\Upsilon^{\mu}$$

$$(1\text{-}\gamma_5)\frac{{k_1}^\beta\gamma_\beta - p_{b_{\mathrm{a}}}\Upsilon^{\mathrm{a}} - m_c}{({k_1}^\beta\gamma_\beta - p_b)^2 - {m_c}^2}\Upsilon^\nu \frac{{k_1}^\beta\gamma_\beta - m_c}{({k_1}^\beta\gamma_\beta)^2 - {m_c}^2}\Upsilon^{\mu}(1\text{-}\gamma_5)\times(\text{-i})\frac{1}{{p_b}^2}\Upsilon^\nu \frac{{k_2}^\beta\gamma_\beta - p_{b_{\mathrm{a}}}\Upsilon^{\mathrm{a}} - m_i}{({k_2}^\beta\gamma_\beta - p_b)^2 - {m_i}^2}\Upsilon^\nu \frac{{k_2}^\beta\gamma_\beta - m_i}{({k_2}^\beta\gamma_\beta)^2 - {m_i}^2}$$

(3.1)

Մենք այստեղ գրել ենք ինտգրալային ընդհանուր տեսքը, երբ փակ ֆերմիոնային օղակում ներդրում կարող են տալ u,c,b քվարկներից որևէ մեկը: k_1 ը հանդիսանում է c քվարկով օղակի ինտեգրման իմպուլսը, k_2 ը համապատասխանաբար u,c,b քվարկներով օղակն է:

Ինտեգրալի հաշվարկը իրենից ներկայացնում է բազմաթիվ ավելի փոքր ինտեգրալների կոմբինացիա: Հաշվարկը կատարելու համար օգտվենք Պասարինո - Վելտմանի առընչություններից՝ ինտեգրալի համարիչը պարզեցնելու համար: Ինչպես նաև համարիչում կկիրառենք Դիրակի հավասարումը՝

$\bar{b}p_{b_{\mathrm{a}}}\Upsilon^{\mathrm{a}}$=-$m_b\bar{b}$ որը << մտնող >> մասնիկի համար է և $\bar{b}p_{b_{\mathrm{a}}}\Upsilon^{\mathrm{a}}$=$m_b\bar{b}$ - << դուրս եկող>> մասնիկի համար:

Ինտգրալի մեջ անցնենք նոր ինտեգրման փոփոխականների:

$P_1 = ({k_1}^\beta\gamma_\beta)^2 - {m_c}^2$, $P_2 = ({k_1}^\beta\gamma_\beta - p_b)^2 - {m_c}^2$, $P_3 = ({k_2}^\beta\gamma_\beta)^2 - {m_i}^2$,

$P_4 = ({k_2}^\beta\gamma_\beta - p_b)^2 - {m_i}^2$: (3.2)

Կատարենք հետևյալ նշանակումը՝ $\acute{k_1} \stackrel{\text{def}}{=} ({k_1}^\beta\gamma_\beta)$, $\acute{k_2} \stackrel{\text{def}}{=} ({k_2}^\beta\gamma_\beta)$:

Ակնհայտ է, որ որոշակի պարզեցումներից հետո, ինտեգրալի տակ արտահայտության համար կունենանք մի քանի ինտեգրալների գումար, որտեղ ինտեգրալների հայտարարները համեմատական կլինեն P_1, P_2, P_3, P_4 երին, կամ դրանց արտադրյալներին՝օրինակ. $P_1\,P_2$ և այլն:

Կատարենք նշանակում. $\mathrm{B}[n_1, n_2, n_3, n_4] = \frac{A}{{P_1}^{n_1}{P_2}^{n_2}{P_3}^{n_3}{P_4}^{n_4}}$՝ հաշվի առած ինտեգրալը և համարիչում գործակիցները:

Քանի որ երկրորդ օղակում կարող են ներդրում ունենալ u,b,c քվարկները, դիտարկենք դեպքերը առանձին: Ստորև հաշվենք դիագրամի այն դեպքը, երբ ներդրում է տալիս b քվարկը:

Մեր դեպքի համար, միջանկյալ հաշվարկները կատարելով Wolfram Matematika 7 ծրագրի օգնությամբ, կունենանք հետևյալ տեսքի անդամներ՝ B[-1, 0, 1, 1, 0], B[0, -1, 1, 1, 0], B[0, 0, 0, 1, 0], B[0, 0, 1, 0, 0], B[0, 0, 1, 1, -1], B[0, 0, 1, 1, 0], B[0, 1, 1, -1, 0], B[0, 1, 1, 0, -1], B[0, 1, 1, 0, 0], B[0, 1, 1, 1, -1], B[0, 1, 1, 1, 0], B[1, 0, -1, 1, 0], B[1, 0, 0, 1, -1], B[1, 0, 0, 1, 0], B[1, 0, 1, 1, -1], B[1, 0, 1, 1, 0], B[1, 1, 0, 0, -1], B[1, 1, 0, 0, 0], B[1, 1, 0, 1, -1], B[1, 1, 0, 1, 0], B[1, 1, 1, 0, -1], B[1, 1, 1, 0, 0], B[1, 1, 1, 1, -2], B[1, 1, 1, 1, -1], B[1, 1, 1, 1, 0], վերցված համապատասխան գործակիցներով՝ .

$$-\frac{2(-2+\mathrm{d})(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+\mathrm{d})\mathrm{m_b}^2},\quad -\frac{2(-2+\mathrm{d})(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+\mathrm{d})\mathrm{m_b}^2},\quad \frac{4(-2+\mathrm{d})(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+\mathrm{d})\mathrm{m_b}^2},\quad \frac{4(-2+\mathrm{d})(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+\mathrm{d})\mathrm{m_b}^2},$$

$$\frac{4(-2+\mathrm{d})(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+\mathrm{d})\mathrm{m_b}^2},\quad -\frac{(-2+\mathrm{d})^2(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+\mathrm{d}},\quad -\frac{2(-2+\mathrm{d})(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+\mathrm{d})\mathrm{m_b}^2},\quad -\frac{4(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)\mathrm{m_b}^2},$$

$$-\frac{(16-10d+d^2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad \frac{8(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad \frac{(-2+d)\mathrm{mb}^2(-6+d+4\mathrm{z}2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},$$

$$-\frac{2(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)\mathrm{m_b}^2},\quad -\frac{4(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)\mathrm{m_b}^2},\quad -\frac{(16-10d+d^2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad \frac{8(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},$$

$$\frac{(-2+d)\mathrm{mb}^2(-6+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad \frac{4(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)\mathrm{m_b}^2},\quad -\frac{(-2+d)^2(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad -\frac{8(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},$$

$$\frac{(-2+d)\mathrm{mb}^2(-2+d+4\mathrm{z}2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad -\frac{8(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad \frac{(-2+d)\mathrm{mb}^2(-2+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},$$

$$-\frac{16(-2+d)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad \frac{8(-2+d)\mathrm{mb}^2(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d},\quad -\frac{(-2+d)\mathrm{mb}^4(-2+d+4z+4\mathrm{z}2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}$$

Օգտվելով աստիճանների իջեցման Լապորտայի մեթոդի հիման վրա գրված FIRE ծրագրից [3], վերևում տրված պրոպագատորների աստիճաններով ինտեգրալները բերենք գլխավոր ինտեգրալների:

B[1,1,0,0,0], B[0,0,1,1,0], B[1,0,0,1,0], B[0,1,1,0,0], B[1,0,1,1,0], B[1,1,1,0,0], B[1,1,0,1,0], B[0,1,1,1,0] :

$$\mathrm{B}[1,0,1,1,0] = \left(\acute{k_1}^2 - m_c^2, \left(\acute{k_1}^2 - p\right)^2 - m_c^2\right) * \left(\left(\acute{k_2}^2 - p\right)^2 - m_i^2\right)$$

$$\mathrm{B}[0,1,1,1,0] = \left(\acute{k_2}^2 - m_i^2, \left(\acute{k_2}^2 - p\right)^2 - m_i^2\right) * \left(\left(\acute{k_1}^2 - p\right)^2 - m_c^2\right)$$

$$\mathrm{B}[1,1,0,1,0] = \left(\acute{k_1}^2 - m_c^2\right) * \left(\acute{k_2}^2 - m_i^2\right)\left(\left(\acute{k_2}^2 - p\right)^2 - m_i^2\right) \tag{3.3}$$

$$\mathrm{B}[1,1,1,0,0] = \left(\acute{k_1}^2 - m_c^2, \left(\acute{k_1}^2 - p\right)^2 - m_c^2\right) * \left(\acute{k_2}^2 - m_i^2\right)$$

$$\mathrm{B}[1,1,1,1,0] = \left(\acute{k_1}^2 - m_c^2, \left(\acute{k_1}^2 - p\right)^2 - m_c^2\right) * \left(\acute{k_2}^2 - m_i^2, \left(\acute{k_2}^2 - p\right)^2 - m_i^2\right)$$

Նկատենք որ B[1,1,1,0,0]= B[1,0,1,1,0]. Քանի որ ինտեգրումը կատարվում է $-\infty$ ից $+\infty$ տիրույթում, և առաջին ինտգրալի մեջ $\acute{k_2}^2 - p$ ուղղակի ինտեգրումը շեղված է հաստատուն p-ով: B[0,1,1,1,0] ինտեգրալի կեղծ մասը հավասար է B[1,1,0,1,0] ինտեգրալի կեղծ մասին և հավասար է 0-ի,քանի որ ինտեգրումը կատարվում է օղակով, որտեղ ներդրում են տալիս երկու b քվարքը, իսկ B-մեզոնը իր հերթին չի կարող տրոհվել երկու b քվարքի, որոհետև երկու b քվարքը գումարային ավելի ծանր են քան B-մեզոնը։։

Ենթինտեգրալ արտահայտությունը պարզեցումից հետո ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\mathrm{B}[1,1,1,0,0]\left(\frac{4(-2+d)m_b^2(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d} + \frac{(-2+d)(d\mathrm{m_b}^2-4\mathrm{m_c}^2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2} + \frac{(2-d)(-4\mathrm{m_b}^2+3d\mathrm{m_b}^2+4\mathrm{m_c}^2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2} + \frac{(-2+d)\mathrm{m_b}^2(-6+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d} + \frac{(-2+d)\mathrm{m_b}^2(-2+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}\right) + \mathrm{B}[1,1,1,1,0]\left(\frac{2(-2+d)\mathrm{m_b}^4(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d} + \frac{(2-d)(d\mathrm{m_b}^4-4\mathrm{m_b}^2\mathrm{mc}^2-4\mathrm{m_b}^2\mathrm{m_i}^2+16\mathrm{m_c}^2\mathrm{m_i}^2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2} + \frac{(2-d)m_b^4(2+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}\right) \tag{3.4}$$

Ըստ էության դիագրամի հաշվարկը բերվեց նրան, որ պետք է հաշվենք B1[1,1,1,0,0] և B[1,1,1,1,0] տեսքի ինտեգրալները։

Նկատենք , որ $\mathrm{B}[1,1,1,1,0] = [\{\acute{k_1}^2 - m_c^2, \left(\acute{k_1}^2 - p\right)^2 - m_c^2\} * \{\acute{k_2}^2 - m_i^2, (\acute{k_2}^2 - p)^2 - m_i^2\}]$

Ունենք երկու տեսակի պրոպագատորներ. մեկում ներդրում է տալիս զլյուոնների միջև ընկած օղակից c քվարկը, մյուսում՝ u,c,b տիպի քվարկներից որևէ մեկը, որտեղ m_i-ն նշանակում է զանգված (i=u,c,b): c քվարկով և i-րդ քվարկով առանձնացված մասերում կատարենք պարզեցում օգտվելով Ֆեյնմանի պարամետրիզացիայից՝

$$\frac{1}{A^{n1}B^{n2}\ldots C^{nn}}=\int_0^1 dx_1 dx_2 dx_n\,\delta\left(\sum x_i-1\right)\frac{(n-1)!}{[x_1A+x_2B+x_nC]^n}: \tag{3.5}$$

c քվարկը պարունակող ենթինտեգրալ արտահայտության համար (3.5) ից կունենանք

$$`\frac{i}{(\acute{k}_1{}^2-m_c{}^2)((\acute{k}_1{}^2-p)^2-m_c{}^2)}=\frac{i}{(x(\acute{k}_1{}^2-p)^2-m_c{}^2)+(1-x)(\acute{k}_1{}^2-m_c{}^2))^2}=\frac{i}{\left((\acute{k}_1-px)^2-m_b{}^2x^2-m_c{}^2+m_b{}^2x\right)^2}$$

$$=\frac{i}{\left(k^2-m_c{}^2+m_b{}^2x(1-x)\right)^2}$$

նշ. $\Delta=m_c{}^2-m_b{}^2x(1-x)$,

Օգտվելով $\int\frac{d^dl}{(2\Pi)^d}\frac{1}{(l^2-\Delta)^n}=\frac{(-1)^n i}{(4\Pi)^{\frac{d}{2}}}\frac{\Gamma\left(n-\frac{d}{2}\right)}{\Gamma(n)}\left(\frac{1}{\Delta}\right)^{n-\frac{d}{2}}$ հայտնի բանաձևից, կստանանք՝ $\frac{\Gamma(\epsilon)}{m_b{}^{2\epsilon}\left(z-x(1-x)\right)^{\epsilon}}$ որտեղ $z=\frac{m_c{}^2}{m_b{}^2}$: Ստացված արտահայտությունը ինտեգրելով 0 ից 1 ըստ x-ի, վերածելով շարքի, պահելով ϵ-ի մինչև երկրորդ աստիճանը, կստանանք՝

$$\mathrm{B}[1,1]=-\frac{1}{8\pi}\sqrt{1-4z}(1+\epsilon(2-\mathrm{Log}(m_b{}^2)-\mathrm{Log}(1-4z))-\frac{1}{4}\epsilon^2(-16+\pi^2-2\mathrm{Log}(m_b{}^2)^2-4\mathrm{Log}(m_b{}^2)(-2+\mathrm{Log}(1-4z))+8\mathrm{Log}(1-4)]-2\mathrm{Log}(1-4z)^2)); \tag{3.6}$$

Նույն գործողությունները կատարելով ենթինտեգրալ արտահայտության երրորդ և չորրորդ անդամների հետ, կստանանք՝ B[1*,1*] $2-\frac{\pi}{\sqrt{3}}+\frac{1}{\epsilon}-2\mathrm{Log}(m_b)+\frac{1}{12}\epsilon(48+\pi^2+$

$$24(-2+\mathrm{Log}(m_b))\mathrm{Log}(m_b)+\sqrt{3}\pi(-8+\mathrm{Log}(9)+8\mathrm{Log}(m_b))-12i\sqrt{3}\mathrm{PolyLog}[2,\tfrac{1}{6}(3-i\sqrt{3})]+12i\sqrt{3}\mathrm{PolyLog}[2,\tfrac{1}{6}(3+i\sqrt{3})]); \tag{3.7}$$

ՈՒնենալով ենթինտեգրալ արտահայտության պարզեցումը, B[1,1,1,1,0]-ի համար կունենանք՝

$$\mathrm{B}[1,1,1,1,0]=\{(\acute{k}_1{}^2-m_c{}^2)(\acute{k}_2{}^2-m_i{}^2),(-m_c{}^2+(\acute{k}_1-p)^2)(-m_i{}^2+(\acute{k}_2-p)^2)\}==$$

$$-\frac{1}{8\pi}\sqrt{1-4z}(1+\epsilon(2-\mathrm{Log}(m_b{}^2)-\mathrm{Log}(1-4z))-\frac{1}{4}\epsilon^2(-16+\pi^2-2\mathrm{Log}(m_b{}^2)^2-$$

$$4\mathrm{Log}(m_b{}^2)(-2+\mathrm{Log}(1-4z))+8\mathrm{Log}(1-4z)-2\mathrm{Log}(1-4z)^2))(2-\frac{\pi}{\sqrt{3}}+\frac{1}{\epsilon}-$$

$2\text{Log}(m_b) + \frac{1}{12}\epsilon(48 + \pi^2 + 24(-2 + \text{Log}(m_b))\text{Log}(m_b) + \sqrt{3}\pi(-8 + \text{Log}(9) +$

$$8\text{Log}(m_b)) - 12i\sqrt{3}\text{PolyLog}[2, \frac{1}{6}(3 - i\sqrt{3})] + 12i\sqrt{3}\text{PolyLog}[2, \frac{1}{6}(3 + i\sqrt{3})])) \tag{3.8}$$

Նույն կերպ $B[1,1,1,0,0] = (\acute{k_1}^2 - m_c{}^2, (\acute{k_1} - p)^2 - m_c{}^2) * (\acute{k_2}^2 - m_b{}^2)$=

$$\text{B}[1,1] * \Gamma(\epsilon - 1) * \frac{-\text{Exp}[\epsilon * \text{EulerGamma}]}{(m_b{}^2)^{\epsilon - 1}} \tag{3.9}$$

$\Delta M1$ –ն որը մեզ հետաքրքրում է նման տիպի պրոցեսներում համեմատական կլինի այս երկու ինտեգրալների գումարին՝

$$\left(\frac{\alpha s}{(4\pi)}\right)^2 \sqrt{1 - 4z}(\text{bs}[1] + \text{bs}[2]) * \left(\frac{(1+2z)}{9\pi\epsilon} - \frac{(-19+3\sqrt{3}\pi - 44z + 6\sqrt{3}\pi z + 18(1+2z)\text{Log}(m_b))}{27\pi} - \frac{3(1+2z)\text{Log}(m_b{}^2) + 3\text{Log}(1-4z) + 6z\text{Log}(1-4z)}{27\pi}\right) \tag{3.10}$$

(bs[1] + bs[2]) արտադրյալը մատրիցական էլեմենտ է, որը իր մեջ պարունակում է գունային ֆակտորներ։ (bs[1] + bs[2]) հաշվարկը կկատարենք վերջում։

Ինչպես երևում է, ստացված պատասխանը իր մեջ պարունակում է անվերջություն, երբ ϵ ը ձգտում է զրոյի։ հաջորդ գլխում անվերջությունները կվերացնենք վերանոր-մավորման միջոցով։

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ դիագրամում ներդրում է տալիս c քվարկը։ Հաշվարկները նույնությամբ կրկնվում են այնպես ինչպես ներդրում էր ունենում b քվարկը, սակայն ի տարբերություն նախորդ դեպքի, այստեղ պետք է հաշվի առնել, որ c քվարկի զանգվածը բավականին փոքր է որպիսի B-մեզոնը կարողանա տրոհվել երկու c քվարկի։ Մաթեմատիկորեն դա նշանակում է, որ c քվարկով պայմանավորված ինտեգրալի կեղծ մասը պետք է հաշվի առնել ΔΓ-ի մեջ։

Գլխավոր ինտեգրալները մեր նշանակումներով ունեն հետևյալ տեսքը՝

B[1,1,0,0,0], B[0,0,1,1,0], B[1,0,0,1,0], B[0,1,1,0,0], B[1,0,1,1,0], B[1,1,1,0,0], B[1,1,0,1,0], B[0,1,1,1,0]։

Նկատենք, որ նախորդ դեպքի նման , որոշ գլխավոր ինտեգրալներ կեղծ մաս չեն պարունակում։ Ճիշտ b քվարկի դեպքում արված դատողության նման՝ B[1,1,0,0,0] →0, B[0,0,1,1,0] → 0, B[1,0,0,1,0] →0, B[0,1,1,0,0] →0։ B[1,0,1,1,0]= B[1,1,1,0,0], B[0,1,1,1,0]= B[1,1,0,1,0]։

z_2-ով նշանակենք O2 օպերատորով օղակումներդրում ունեցող c քվարկով պայամանավորված $\frac{{m_c}^2}{{m_b}^2}$ հարաբերությունը, z-ով նշանակենք c քվարկով ֆերմիոնային օղակում $\frac{{m_c}^2}{{m_b}^2}$ հարաբերությունը: $\sigma = \frac{1-\sqrt{1-4z}}{1+\sqrt{1-4z}}$, $\sigma_2 = \frac{1-\sqrt{1-4z_2}}{1+\sqrt{1-4z_2}}$

Պարզեցումներից հետո ենթինտեգրալային արտահայտությունը արտահայտված գլխավոր ինտեգրալների կոմբինացիայով, կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\mathrm{B}[1,1,1,0,0]\left(\frac{4(-2+d){m_b}^2(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}+\frac{(-2+d){m_b}^2(-6+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}\right.$$
$$+\frac{(-2+d){m_b}^2(-2+d+4z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}+\frac{(-2+d)(d{m_b}^2-4{m_b}^2z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2}$$
$$\left.+\frac{(2-d)(-4{m_b}^2+3d{m_b}^2+4{m_b}^2z)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2}\right)$$

+

$$\mathrm{B1}[1,1,0,1,0]\left(\frac{4(-2+d){m_b}^2(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}\right.$$
$$+\frac{(-2+d){m_b}^2(-6+d+4z_2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}$$
$$+\frac{(-2+d){m_b}^2(-2+d+4z_2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}+\frac{(-2+d)(d{m_b}^2-4{m_b}^2z_2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2}$$
$$\left.+\frac{(2-d)(-4{m_b}^2+3d{m_b}^2+4{m_b}^2z_2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2}\right)$$

+

$$\mathrm{B1}[1,1,1,1,0]\left(\frac{2(-2+d){m_b}^4(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}\right.$$
$$+\frac{(2-d){m_b}^4(-2+d+4z+4z_2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{-1+d}$$
$$\left.+\frac{(2-d)(d{m_b}^4-4{m_b}^4z-4{m_b}^4z_2+16{m_b}^4zz_2)(\mathrm{bs}[1]+\mathrm{bs}[2])}{(-1+d)^2}\right) \qquad (3.10)$$

Այժմ հաշենք ստացված գլխավոր ինտեգրալները.

Հաշվի առնենք c քվարկի զանգվածի մեծ լինելը: B[1,1,1,1,0] տեսքով գլխավոր ինտեգրալում կեղծ մաս կառաջանա c քվարկով առաջին օղակի իրական մասի և երկրորդ օղակի կեղծ մասի արտադրյալի և երկրորդի իրականի ու առաջինի կեղծ մասերի արտադրյալներից կազմված գումարում:

$$B[1,1,1,0,0] = \left(\acute{k}_1^{\,2} - m_c^{\,2}, \left(\acute{k}_1^{\,2} - p\right)^2 - m_c^{\,2}\right) * \left(\acute{k}_2^{\,2} - m_i^{\,2}\right) = B[1,1] * \left(\acute{k}_2^{\,2} - m_i^{\,2}\right) =$$

$$= B[1,1] * \Gamma[\epsilon - 1] * \frac{-\mathrm{Exp}[\epsilon * \mathrm{EulerGamma}]}{(\mathrm{mi}^2)^{\epsilon-1}} \tag{3.11}$$

$$B[1,1,0,1,0] = \left(\acute{k}_1^{\,2} - m_c^{\,2}\right) * \left(\acute{k}_2^{\,2} - m_i^{\,2}\right)\left(\left(\acute{k}_2^{\,2} - p\right)^2 - m_i^{\,2}\right) =$$

$$\Gamma[\epsilon - 1] * \frac{-\mathrm{Exp}[\epsilon * \mathrm{EulerGamma}]}{(\mathrm{mc}^2)^{\epsilon-1}} * B2[1,1] \tag{3.12}$$

որտեղ B2[1,1]-ով նշանակել ենք երկրորդ օղակում c քվարկով պայմանավորված $\left(\acute{k}_2^{\,2} - m_i^{\,2}, \left(\acute{k}_2^{\,2} - p\right)^2 - m_i^{\,2}\right)$ պրոպագատորներով ինտեգրալի կեղծ մասը:

նույն ինտեգրալի իրական մասը նշանակենք ReB2[1,1], որը հավասար է՝

$$\mathrm{ReB2}[1,1] = 2 + \tfrac{1}{\epsilon} - \mathrm{Log}(m_b{}^2) - \mathrm{Log}(z_2) + \mathrm{Log}(\sigma_2) - \left(1 - \sqrt{1 - 4z_2}\right)\mathrm{Log}(\sigma_2) - \tfrac{1}{12}\epsilon\left(-48 - \pi^2 + 8\pi^2\sqrt{1 - 4z_2} - 6\mathrm{Log}(m_b{}^2)^2 - 6\left(-4 + \mathrm{Log}(z_2) - \mathrm{Log}(\sigma_2)\right)\left(\mathrm{Log}(z_2) - \mathrm{Log}(\sigma_2)\right) - 12\mathrm{Log}[m_b{}^2]\left(-2 + \mathrm{Log}(z_2) - \sqrt{1 - 4\mathrm{z}2}\mathrm{Log}(\sigma_2)\right) + 6\mathrm{Log}(\sigma_2)\left(4 - 2\mathrm{Log}(z_2) + \mathrm{Log}(\sigma_2) + \sqrt{1 - 4z_2}\left(-4 + 2\mathrm{Log}[1 - 4z_2] + \mathrm{Log}(\sigma_2)\right)\right) + 24\sqrt{1 - 4z_2}\mathrm{PolyLog}[2, \sigma_2]\right) \tag{3.13}$$

Նույն կերպ առաջին օղակից ինտեգրալի իրական մասը կլինի՝

$$\mathrm{ReB}[1,1] = 2 + \tfrac{1}{\epsilon} - \mathrm{Log}(m_b{}^2) - \mathrm{Log}(z) + \mathrm{Log}(\sigma) - \left(1 - \sqrt{1 - 4z}\right)\mathrm{Log}(\sigma) - \tfrac{1}{12}\epsilon\left(-48 - \pi^2 + 8\pi^2\sqrt{1 - 4z} - 6\mathrm{Log}(m_b{}^2)^2 - 6\left(-4 + \mathrm{Log}(z) - \mathrm{Log}(\sigma)\right)\left(\mathrm{Log}(z) - \mathrm{Log}(\sigma)\right) - 12\mathrm{Log}(m_b{}^2)\left(-2 + \mathrm{Log}(z) - \sqrt{1 - 4z}\mathrm{Log}(\sigma)\right) + 6\mathrm{Log}(\sigma)\left(4 - 2\mathrm{Log}(z) + \mathrm{Log}(\sigma) + \sqrt{1 - 4z}\left(-4 + 2\mathrm{Log}(1 - 4z) + \mathrm{Log}(\sigma)\right)\right) + 24\sqrt{1 - 4z}\mathrm{PolyLog}[2, \sigma]\right) \tag{3.14}$$

B[1,1] ը, որը ReB[1,1]-ի համապատասխան կեղծ մասն է, մեզ հայտնի է նախորդ հաշվարկից, B2[1,1] ը կլինի նույնը ինչ B[1,1]-ը, համապատասխան գործակիցներով՝

$$\mathrm{B2}[1,1] = -\frac{1}{8\pi}\sqrt{1 - 4z_2}(1 + \epsilon(2 - \mathrm{Log}(m_b{}^2) - \mathrm{Log}(1 - 4z_2)) - \frac{1}{4}\epsilon^2(-16 + \pi^2 - 2\mathrm{Log}(m_b{}^2)^2 - 4\mathrm{Log}(m_b{}^2)(-2 + \mathrm{Log}(1 - 4z_2)) + 8\mathrm{Log}(1 - 4)] - 2\mathrm{Log}(1 - 4z_2)^2));$$

B[1,1,1,1,0]= $\left(\acute{k_1}^2 - m_c{}^2, \left(\acute{k_1}^2 - p\right)^2 - m_c{}^2\right) * \left(\acute{k_2}^2 - m_i{}^2, \left(\acute{k_2}^2 - p\right)^2 - m_i{}^2\right)$

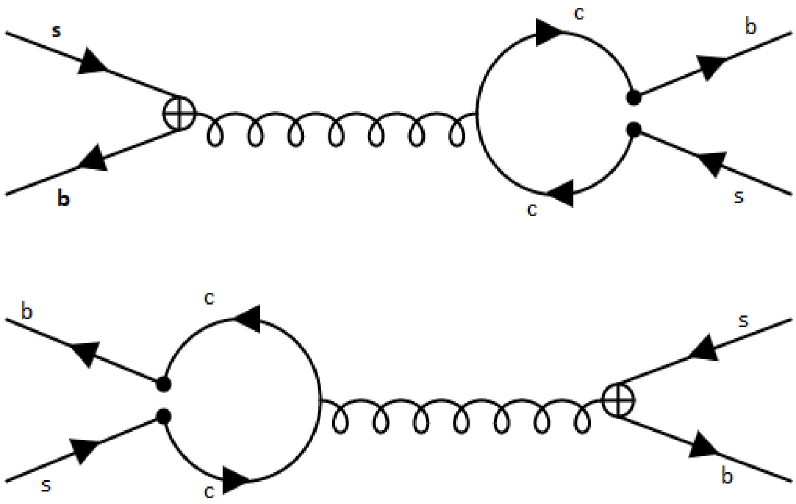
Ինտեգրալի մեջ մեզ հետաքրքրող կեղծ մասը կլինի՝
ReB[1,1]* B2[1,1]+ReB2[1,1]* B[1,1] (3.15)
Համապատասխան գործողություններից հետո կունենանք՝

$$\mathrm{M2} = \left(\frac{\mathrm{a_s}}{(4\pi)}\right)^2 * \frac{1}{9\pi}(\mathrm{bs}[1] + \mathrm{bs}[2])\left(\frac{\sqrt{1-4\mathrm{z}}(1+2\mathrm{z})+\sqrt{1-4\mathrm{z}_2}(1+2\mathrm{z}_2)}{\epsilon} + \sqrt{1-4\mathrm{z}_2}\left(\frac{7}{3} + 4\mathrm{z} + \frac{20\mathrm{z}2}{3} + 8\mathrm{z}\mathrm{z}_2 + (-2-4\mathrm{z}_2)\mathrm{Log}(\mathrm{m_b}^2) + (-1-2\mathrm{z}_2)\mathrm{Log}(\mathrm{z}) + (-1-2\mathrm{z}_2)\mathrm{Log}(1-4\mathrm{z}_2)\right) + \sqrt{1-4\mathrm{z}}\left(\frac{7}{3} + 4\mathrm{z}_2 + \frac{4}{3}\mathrm{z}(5+6\mathrm{z}_2) + (-2-4\mathrm{z})\mathrm{Log}(\mathrm{m_b}^2) + (-1-2\mathrm{z})\mathrm{Log}(1-4\mathrm{z}) + (-1-2\mathrm{z})\mathrm{Log}(\mathrm{z}_2)\right) + \sqrt{1-4\mathrm{z}}\sqrt{1-4\mathrm{z}_2}((1+2\mathrm{z})(1+2\mathrm{z}_2)\mathrm{Log}(\sigma) + (1+2\mathrm{z})(1+2\mathrm{z}_2)\mathrm{Log}(\sigma_2))\right) \quad (3.16)$$

Նախորդ դեպքի նման, այստեղ նս կա անվերջություն պայմանավորված $\frac{1}{\varepsilon}$ անդամով: Հաջրդիվ կանդրադառնանք անվերջություններից ազատվելուն:

ՎԵՐԱՆՈՄԱՎՈՐՈՒՄ

Այժմ անդրադառնանք նախորդ գլխում հաշվված դիագրամների վերանոմավորմանը: Այստեղ մենք ունենք երկու տիպի վերանորմավորում. ուժեղ փոխազդոցության հաստատունի՝ g_s-ի և օպերատորների՝ տվյալ դեպքում O2-օպերատորի :
Այժմ դիտարկենք ուժեղ փոխազդոցության հաստատունի վերանորմավո-րումը(Նկ.4) , [4]:



Նկ. 4 Այստեղ պատկրված են g_s-ի վերանորմավորման համար անհրաժեշտ դիագրամները:

$$\int \frac{d^dk}{(2\pi)^d}\,\bar{b}\,\Upsilon^{\mu}(1\text{-}\gamma_5)\,\frac{k^{\beta}\gamma_{\beta}-p_b{}^{\alpha}\gamma_{\alpha}+m_c}{(k^{\beta}\gamma_{\beta}-p_b)^2-m_c{}^2}\,\Upsilon^{\nu}\,\frac{k^{\beta}\gamma_{\beta}+m_c}{(k^{\beta}\gamma_{\beta})^2-m_c{}^2}(1\text{-}\gamma_5)\Upsilon^{\mu}s$$

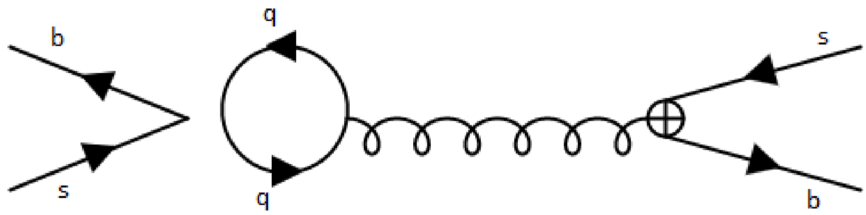
$$\times\,(\text{-i})\frac{1}{p_b{}^2}\,\bar{b}\,(\Upsilon^{\alpha}(p^{\beta},\gamma_{\beta})\text{-}(p^{\beta},\gamma_{\beta})\,\Upsilon^{\alpha}\,)(1\text{-}\gamma_5)s$$

Հետևյալ դիագրամների փուլային ծավալները նախորդ դիագրամների պես իրար հավասար են: Տվյալ դիագրամների համար ստացվում է

$$M(g_s)=\frac{\alpha_s}{4\pi}\frac{4m_b{}^2(\text{bs}[1]+\text{bs}[2])(-\frac{27}{16}\sqrt{1-4z}(1+2z)+\sqrt{1-4z}\epsilon(-\frac{9}{8}(1+5z)+}{81\pi}+$$

$$\frac{\frac{27}{16}(1+2z)\text{Log}(m_b{}^2)+\frac{27}{16}(1+2z)\text{Log}(1-4z)))}{81\pi} \qquad (4.1)$$

Այժմ դիտարկենք O_2 օպերատորի վերանորմավորումը: (նկ. 5)



Նկ. 5 Այստեղ պատկրված են O_2 օպերատորի վերանորմավորման համար անհրաժեշտ դիագրամները : Այստեղ ներդրում են տալիս O_3, O_4, O_5, O_6 օպերատորները: q=u,d,s,c:

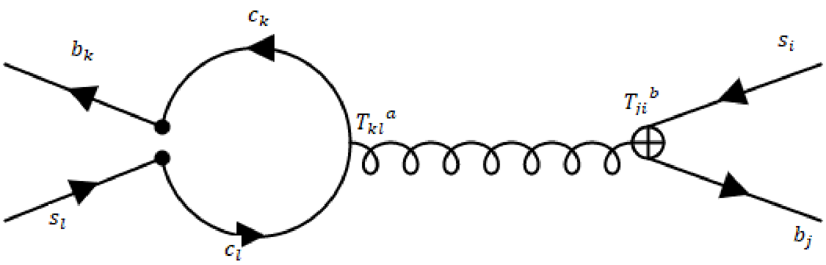
Հաշվելուց ստացվում է հետևյալ պատասխանը՝

$$\text{ResO4}=\frac{\alpha_s N_f}{4\pi}\frac{{m_b}^2(\text{bs[1]}+\text{bs[2]})(\sqrt{1-4z}(1+2z)+\sqrt{1-4z}\epsilon(\frac{1}{3}(5+16z)}{12\pi}+\frac{(-1-2z)\text{Log}({m_b}^2)+(-1-2z)\text{Log}(1-4z)))}{12\pi} \tag{4.2}$$

Այժմ անհրաժեշտ է հաշվել գունային գործակիցները: Ընդհանուր դեպքում ուժեղ փոխազդեցությունների հանրահաշիվը հիմնված է SU(N) խմբի վրա: Խմբի բազիսները հանդիսանում են T^a մատրիցները , դրանց քանակը N^2-1 է: Հանրահաշիվը ներկայացնում է Լիի հանրահաշիվ: SU(2) խմբի դեպքում $T^a=\frac{1}{2}\sigma_a$, որտեղ σ_a-ն Պաուլիի մատրիցներն են, SU(3) Խմբի դեպքում $T^a=\frac{1}{2}\lambda_a$, որտեղ λ_a-ն Գել-Մանի մատրիցներն են: SU(N) խմբի ֆունդամենտալ ներկայացում է հանդիսանում T^aT^a-ն: $(T^aT^a)_{ij}=(T^a)_{ik}(T^a)_{kj}=\frac{1}{2}\left(\delta_{ij}\delta_{kk}-\frac{1}{N}\delta_{ik}\delta_{kj}\right)=\frac{1}{2}\left(\delta_{ij}N-\frac{1}{N}\delta_{ij}\right)=\delta_{ij}\frac{N^2-1}{2N}$ => $(T^aT^a)_{ij}=\delta_{ij}C_f$ => $C_f=\frac{N^2-1}{2N}$, C_f ը գունային ֆակտորն է: Մաթեմատիկորեն ասած C_f-ը իրենից ներկայացնում է $T^aT^a=C_f 1$:

Այժմ մեր դիտարկվող դիագրամների համար հաշվենք գունային ֆակտորների ներդրումը:

Սկզբում դիտարկենք փակ ֆերմիոնային օղակ չպարունակող դիագրամը. (նկ. 6)



Նկ. 6   դիագրամը նկարված է Ֆեյնմանի կանոնների գունային փակտորների բաղադրիչներով:

Գունային փակտորների ներդրումը դիագրամի հաշվարկի մեջ Ֆեյնմանի կանոնների համաձայն կլինի՝ $\overline{b_k}T_{kl}{}^a s_l\overline{b_j}'T_{ji}{}^b s_i'\delta^{ab}$=$\overline{b_k}s_l\overline{b_j}'s_i'\frac{1}{2}\left(\delta_{ki}\delta_{lj}-\frac{1}{N}\delta_{kl}\delta_{ji}\right)$=$\frac{1}{2}\overline{b_l}s_l\overline{b_l}'s_i'$-$\frac{1}{2N}\overline{b_l}s_l\overline{b_l}'s_i'$, որտեղ N-ը գույների քանակն է՝ N=3:

Հիշենք, որ դիագրամի կեղծ մասի հաշվարկի ժամանակ կար bs[1]+ bs[2] արտադրիչ: օգտվելով (1.6) բանաձեւից, կստանանք, որ ՝

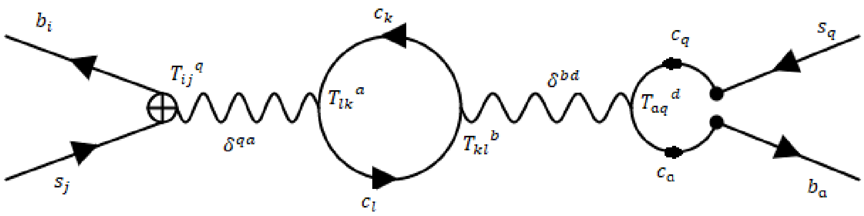
bs[1]= $\frac{1}{2}\overline{b_l}Ls_l * \overline{b_l}'Ls_i'$-$\frac{1}{2N}\overline{b_l}Ls_l\overline{b_l}'Ls_i'$=$\frac{1}{2}\langle\widetilde{Q_s}\rangle$-$\frac{1}{2N}\langle Q_s\rangle$ (4.3)

bs[2]= $\frac{1}{2}\overline{b_l}\gamma^\mu Ls_l * \overline{b_l}'\gamma^\mu Ls_i'$-$\frac{1}{2N}\overline{b_l}\gamma^\mu Ls_l\overline{b_l}'\gamma^\mu Ls_i'$=$\frac{1}{2}\langle\tilde{Q}\rangle$-$\frac{1}{2N}\langle Q\rangle$ (4.4)

օգտվելով նաև հետևյալ առնչություններից ՝ $\langle\tilde{Q}\rangle$=$\langle Q\rangle$,$\langle\widetilde{Q_s}\rangle$=-$\langle Q_s\rangle$-$\frac{1}{2}\langle Q\rangle$, վերջնական կստանանք՝ bs[1]+ bs[2]=$\left(\frac{N-1}{4N}\right)\langle Q\rangle$-$\left(\frac{N+1}{2N}\right)\langle Q_s\rangle$: Ինչպես նշել էինք սկզբում, գույների քանակը 3 է: Հետևաբար՝

bs[1]+ bs[2]=$\frac{1}{6}\langle Q\rangle$-$\frac{2}{3}\langle Q_s\rangle$: (4.5)

Այժմ դիտարկենք փակ ֆերմիոնային օղակով դիագրամը:(նկ.7)



Նկ.7   դիագրամը նկարված է Ֆեյնմանի կանոնների գունային փակտորների բաղադրիչներով

Ֆեյնմանի կանոնների համաձայն կունենանք՝

$$\overline{b_\iota} T_{ij}{}^{q} s_j \delta^{aq} T_{ji}{}^{a} s_i{}' \delta^{ab} T_{lk}{}^{a} T_{kl}{}^{b} \overline{b_a{}'} T_{aq}{}^{d} \delta^{bd} s_q{}' =$$

$$\overline{b_\iota} s_j \frac{1}{2}\left(\delta_{ik}\delta_{jl} - \frac{1}{N}\delta_{ij}\delta_{lk}\right) * \frac{1}{2}\left(\delta_{kq}\delta_{al} - \frac{1}{N}\delta_{kl}\delta_{aq}\right) \overline{b_a{}'} s_q{}' =$$

$$\left(\frac{N-1}{2N}\right)\langle Q\rangle - \left(\frac{N+1}{N}\right)\langle Q_s\rangle \qquad (4.6)$$

Ստացված պատասխանը երկու անգամ տարբերվում է նախորդ պատասխանից. դա հետևանք է նրա, որ սկզբնական դիագրամի գունային ֆակտորները օղակների թվի կրկնապատիկ չափով ունենում են ներդրումներ:

Անդրադառնանք վերանորմավորման հաստատուններին: Մեզ հետաքրքրող վերանորմավորման խմբի հավասարումը ունի հետևյալ տեսքը՝ [5]

$$\frac{dg(\mu)}{dln\mu} = \beta(g(\mu), \varepsilon)$$

որտեղ՝ (4.7)

$$\beta(g,\varepsilon) = -\varepsilon g + \beta(g), \qquad \beta(g) = -g\frac{1}{Z_g}\frac{dZ_g}{dln\mu}$$

Խմբավորումից հետո կստանանք՝

$$\beta(g) = -\beta_0\frac{g^3}{16\pi^2} - \beta_1\frac{g^5}{(16\pi^2)^2}, \qquad \beta_0 = \frac{11N-2f}{3} \qquad (4.8\ )$$

NLO կարգում ուժեղ փոխազդոցության հաստատունի՝ g_s-ի, վերանորմավորման հաստատունն է. [2017]

$$Z_{g_s}{}^{(1),N_f} = \frac{a_s}{6\pi\epsilon} N_f T_R, \text{ where } T_R = \frac{1}{2} \qquad (4.9\ )$$

Իսկ էֆեկտիվ օպերատորները վերարմավորելու համար մեզ անհրաժեշտ հաստատուններն են՝

$$Z_{42}{}^{(1)} = Z_{62}{}^{(1)} = \frac{a_s}{12\pi\epsilon} \qquad (4.10)$$

b քվարկ պարունակող օղակով դիագրամի համար՝ $\mathrm{M1} + 2 * \frac{\alpha s}{6\pi\epsilon} * \mathrm{ResNLO}$

վերջնական՝

$$-\frac{\alpha_s{}^2}{4\pi}\frac{2\sqrt{1-4z}(1+2z)\left(-17+3\sqrt{3}\pi+18\mathrm{Log}(m_b)-6\mathrm{Log}(m_b{}^2)\right)}{81} \tag{4.11}$$

C քվարկի համար.

$$\mathrm{M1}+2Z_{g_s}{}^{(1),N_f}*\mathrm{ResNLO}+2Z_{42}{}^{(1)}\mathrm{ResNLOO4}+2Z_{62}{}^{(1)}\mathrm{ResNLOO6} \tag{4.12}$$

Իսկ esNLOO3= esNLOO5 $= 0$, գունային ցուցիչների պատճառով: Արդյունքում ստանում ենք վերանորմավորված պատասխան.

$$\frac{\alpha_s{}^2}{4\pi}2\frac{(\sqrt{1-4z2}(1+2z_2)(2+12z-3\mathrm{Log}\left(\frac{\mu_1}{m_b}\right)-3\mathrm{Log}(z))}{27}$$

$$+\frac{\sqrt{1-4z}(1+2z)(5+12z_2-3\mathrm{Log}\left(\frac{\mu_1}{m_b}\right)-3\mathrm{Log}(z_2))}{27}$$

$$+\frac{3\sqrt{1-4z}(1+2z)\sqrt{1-4z_2}(1+2z2)(\mathrm{Log}(\sigma)+\mathrm{Log}(\sigma_2)))}{27} \tag{4.13}$$

U քվարկի դեպքի համար կստանանք (4.13) ից z_2-ը ձգտեցնելով զրոյի

Որտեղ μ_1-ը վերանորմավորման մասշտաբն է և μ_1=$[m_b/2, 2m_b]$:

ՖԵՆՈՄԵՆՈԼՈԳԻԱ

Ստացված արդյունքները , ինչպես նաեւ նախկինում ստացված արդյունքները օգտագործելով հնարավոր է գնահատել թե $a_s^2 N_f$ կարգում պենգվին դիագրամները ինչպիսի ներդրում կունենան CP ասիմետրիայի մեջ:

Էֆեկտիվ Համիլտոնյանի մեջ մտնող Վիլսոնի գործակիցների թվային արժեքների շարքի վերլուծության մինչև NNLO անդամները բերված են աղյուսակ 1-ում :

i	$C_i^{(0)}(\mu_b)$	$C_i^{(1)}(\mu_b)$	$C_i^{(2)}(\mu_b)$
1	-0.2687	4.332	50.142
2	1.1179	-2.024	-17.114
3	0.0121	0.090	–
4	-0.0274	-0.465	–
5	0.0079	0.041	–
6	-0.0343	-0.434	–
8	-0.1508	-1.0006	–

Աղյուսակ 1

Կաբբիբո Կոբոյաշի Մասկավայի մատրիցայի պարամետրների համար ունենք՝

λ = 0, 22453±0, 00044, A=0, 836 ±0, 015, $\bar{\rho}$=0,,122$^{+0,018}_{-0,017}$, $\bar{\eta}$=0,355$^{+0,012}_{-0,011}$ [15]

NLO կարգում $\bar{z} = m_c^2(m_b)/\, m_b^2(m_b)$= 0,049

NNLO կարգում՝ $\bar{z} = m_c^2(m_b)/\, m_b^2(m_b)$= 0,045

Ինչպես նաև ունենալով նաև աղյուսակ 2-ում բերված պարամետրերը պարամետրերը:

$\bar{m}_b(\bar{m}_b) =$	$(4.18 \pm 0.03)\,\mathrm{GeV}$	[6]	$\bar{m}_c(\bar{m}_c) =$	$(1.286 \pm 0.013_{\mathrm{stat}} \pm 0.040_{\mathrm{syst}})\,\mathrm{GeV}$	[9]
$\bar{m}_s(\bar{m}_b) =$	$(0.079 \pm 0.002)\,\mathrm{GeV}$	[7]	$\bar{m}_t(m_t) =$	$(165.96 \pm 0.35_{\mathrm{stat}} \pm 0.64_{\mathrm{syst}})\,\mathrm{GeV}$	[9]
$m_b^{\mathrm{pow}} =$	$4.7\,\mathrm{GeV}$	[8]	$\alpha_s(M_Z) =$	$0.1180(7)$	[10]
$f_{B_s}\sqrt{\widetilde{B}'_S} =$	$303 MeV$	[7]	$\widetilde{B}_{R_0} =$	0.56 ± 0.53	[7]
$f_{B_s}\sqrt{B} =$	$224 MeV$	[7]			

Աղյուսակ 2

B_s համակարգի դեպքում, CP ասիմետրիայի մեջ պինգվին սեկտորների ներդրումների հարաբերությունը ($\mu_1 = m_b$) կլինի `

$$\frac{\delta a_{fs}^{s(2),N_f,p}}{a_{fs}^{s(1),p}} = -17{,}79\,\frac{\alpha_s(\mu_1)}{4\pi}\,(m_b{=}m_b^{pole}),\quad \frac{\delta a_{fs}^{s(2),N_f,p}}{a_{fs}^{s(1),p}} = -16{,}11\,\frac{\alpha_s(\mu_1)}{4\pi}\,(m_b{=}\overline{m_b}) \qquad (5.1)$$

B_d համակարգի համար կունենանք՝

$$\frac{\delta a_{fs}^{d(2),N_f,p}}{a_{fs}^{d(1),p}} = -17{,}66\,\frac{\alpha_s(\mu_1)}{4\pi}\,(m_b{=}m_b^{pole}),\quad \frac{\delta a_{fs}^{d(2),N_f,p}}{a_{fs}^{d(1),p}} = -16\,\frac{\alpha_s(\mu_1)}{4\pi}\,(m_b{=}\overline{m_b}) \qquad (5.2)$$

Որտեղ $\delta a_{f_s}^{q(2),N_f,p}$ նշանակում է $\alpha_s^2 N_f$-ին համեմատական պինգվին դիագրամի ներդրումը $a_{f_s}^{q}$ –ի մեջ, իսկ $a_{f_s}^{q(1),p}$-ը՝ a_s^1-ին համեմատական պինգվին դիագրամների ներդրումն է $a_{f_s}^{q}$-ի մեջ:

Իսկ եթե կիրառենք այսպես կոչված նայիվ նոնաբելիզացիա, ապա կստանանք

$$\frac{\delta a_{f_s}^{s(2),NNA,p}}{a_{f_s}^{s(1),p}} = -13{,}90\frac{a_s(\mu_1)}{4\pi}\ (m_b = m_b^{pole}),\quad \frac{\delta a_{f_s}^{s(2),NNA,p}}{a_{f_s}^{s(1),p}} = -11{,}56\,\frac{a_s(\mu_1)}{4\pi}\ (m_b = \overline{m_b}) \tag{5.3}$$

B_d համակարգի համար կունենանք՝

$$\frac{\delta a_{f_s}^{d(2),NNA,p}}{a_{f_s}^{d(1),p}} = -13{,}88\,\frac{a_s(\mu_1)}{4\pi}\ (m_b = m_b^{pole}),\quad \frac{\delta a_{f_s}^{d(2),NNA,p}}{a_{f_s}^{d(1),p}} = -11{,}55\frac{a_s(\mu_1)}{4\pi}\ (m_b = \overline{m_b}) \tag{5.4}$$

Վերջին երկու հավասարումների ինդեքսում գրված NNA-ն (Naive nonabelianization) իրենից ներկայացնում է ոչ աբելյան դիագրամների ներդրումը հաշվի առնելու մեթոդ: Կարճ այն իրենից ներկայացնում է հետևյալը՝

Դիցուք մեզ հայտնի է QCD-ի β_0 ֆունկցիան, որը որոշվում է $\frac{dg_s(\mu)}{dln\mu}$=-$\beta_0 \frac{g_s^3}{16\pi^2}$ հավասարումից:

β_0 ֆունկցիան կապ է հաստատում ոչ աբելյան դաշտերի Ֆեյնմանի դիագրամի օղակների և աբելյան դաշտերի ֆեյնմանի օղակների միջև:

Պարզ դեպքում $\beta_0 = \frac{11N_c - 2N_f}{3}$, որտեղ N_f=N_L+2, N_L=3(u,d,s), N_v=1 (c) , N_H=1(b)

$N_f \to -3/2\beta_0$, որից հետո $\beta_0 = \frac{11N_c - 2N_f}{3}$ հավասարումից կվորոշվի N_c-ն:

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս , որ a_s^2 ու ունեցած ներդրումները պինգվին դիագրամներում համեմատելի են a_s^1-ի հետ: Կարելի է ենթադրել որ բոլոր տիպի a_s^2 ուղղումները կարող են նման կերպ մեծ լինել, ինչը պետք է ստուգել:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Այս աշխատանքում մենք կատարել ենք առաջին քայլը Ստանդարտ Մոդելի շրջանակներում հաջորդը-հաջորդը առաջատարի նկատմամբ (NNLO) Քվանտաքրոմոդինամիկական ուղղումների հաշվարկ CP խախտման համար $\mathrm{B_q}$-$\overline{\mathrm{B_q}}$ (q=s,d) համակարգի համար։ Մասնավորապես մենք գնահատել ենք $a_s^2 N_f$ կարգիպենգվինային դիագրամների ներդրումը a_{fs}^q-ի մեջ $\mathrm{B_q}$-$\overline{\mathrm{B_q}}$ համակարգի համար, $a_s^2 N_f$ և a_s^1-ի կարգի պինգվինային ներդրումները համեմատելով։ Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս , որ a_s^2-ու ունեցած ներդրումները պինգվին դիագրամներում համեմատելի են a_s^1-ի հետ՝ ≈0,22, և ունեն հակառակ նշան։

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

[1] M. Beneke, G. Buchalla, A. Lenz and U. Nierste, "CP asymmetry in favor specic B decays beyond leading logarithms," Phys. Lett. B 576 (2003) 173 [hep-ph/0307344].

[2] Alexander Lenza, Gilberto Tetlalmatzi-Xolocotzi, "Model-independent bounds on new physics effects in non-leptonic tree-level decays of B-mesons," [arXiv:1912.07621v1 [hep-ph] 16 Dec 2019]

[3] A.V. Smirnov [arXiv:0807.3243v3 [hep-ph] 2 Aug 2008]

[4] Andrzej J. Buras "Weak Hamiltonian, CP Violation and Rare Decays" [arXiv:hep-ph/9806471v1 24 Jun 1998]

[5] K.G. Chetyrkin, M. Misiak and M. M¨unz, β-functions and anomalous dimensions up to three loops, Nucl. Phys. B 518 (1998) 473 [hep-ph/9711266] [INSPIRE].

[6] C. Patrignani et al. [Particle Data Group], "Review of Particle Physics," Chin. Phys. C 40, no. 10, 100001(2016).

[7] A. Bazavov et al. [Fermilab Lattice and MILC Collaborations], "B_0^s-mixing matrix elements from lattice QCD for the Standard Model and beyond," Phys. Rev. D 93 (2016) no.11, 113016 [arXiv:1602.03560].

[8] A. Lenz and U. Nierste, "Theoretical update of B_s-$\overline{B_s}$ mixing," JHEP 0706 (2007) 072 [hep-ph/0612167].

[9] J. Charles et al. [CKMfitter Group Collaboration], "CP violation and the CKM matrix: Assessing the impact of the asymmetric B factories," Eur. Phys. J. C 41, 1 (2005) [hep-ph/0406184]. We use updated numbers from http://ckm_tter.in2p3.fr.

[10] S. Aoki et al. [Flavour Lattice Averaging Group], "FLAG Review 2019: Flavour Lattice Averaging Group (FLAG)," Eur. Phys. J. C 80, no.2, 113 (2020) [arXiv:1902.08191]..