

Vektör Portalı ve Nötrino Elektromanyetik Form Faktörleri

Esra Akyumuk

Department of Physics, Middle East Technical University

24th September, 2022



Motivations

- Standart Modelin, elektrozayıf skala civarındaki enerjilere kadar geçerli olan etkin bir teori olduğu bilinmektedir.
- Standart Modeli düşük veya yüksek enerji ölçeklerinde değiştirmeyi amaçlayan yeni fizik senaryoları mevcuttur.
- Düşük enerjilerde, çeşitli portallar aracılığıyla Standart Model ile gizli sektörün etkileşimi düşünülebilir.

Nötrinin Elektromanyetik Köşe Fonksiyonu

Bir Dirac nötrinosunun elektromanyetik etkileşiminin etkin Hamiltoniyeni,

$$\mathcal{H}_{\text{em}}(x) = j_{\mu}^{\text{EM}}(x)A^{\mu}(x) = \bar{\nu}_f(x)\Lambda_{\mu}\nu_i(x)A^{\mu}(x)$$

1 Motivations

2 Vektör Portalı ve Nötrino Elektromanyetik Form Faktörleri

Nötrinin Elektromanyetik Köşe Fonksiyonu

Nötrino Manyetik Momenti ve Yük Yarıçapı

Vektör Portalı

Nötrinin elektromanyetik köşe fonksiyonuna katkıda bulunan diyagramlar

Sonuçlar

3 Conclusions

Nötrino Manyetik Momenti ve Yük Yarıçapı

- İlk olarak, sonucun ultraviyole ıraksak olması nedeniyle, nötrino yük yarıçapının, Standart Modelde fiziksel bir nicelik olmadığı iddia edildi [1].
- Bununla birlikte, nötrino-lepton nötr saçılma diyagramlarından olağan terimlere katkıları dahil ederek, üniter ayardaki nötrino yük yarıçapı için sonlu ancak ayara bağlı bir sonuç elde etmek mümkündür [2].
- Daha sonra, uygun diyagramların katkılarıyla ek kutu diyagramları dikkate alınarak nötrino yük yarıçapı için sonlu ve ölçü bağımsız bir değer elde etmenin mümkün olduğu gösterilmiş [3] ve bu, nötrino elektrozayıf yarıçapının tanımlanmasına [4, 5] ve tartışılmasına yol açmıştır.

1 Motivations

2 Vektör Portalı ve Nötrino Elektromanyetik Form Faktörleri

Nötrinin Elektromanyetik Köşe Fonksiyonu

Nötrino Manyetik Momenti ve Yük Yarıçapı

Vektör Portalı

Nötrinin elektromanyetik köşe fonksiyonuna katkıda bulunan diyagramlar

Sonuçlar

3 Conclusions

Karanlık Foton

- $SU(2)_L \times U(1)_Y \times U_{B-L}(1)$ olarak Standart Model'e fazladan bir deęişmeli $U(1)$ simetrisinin eklenmesi.
- Yeni $U_{B-L}(1)$ alanı, SM $U(1)_Y$ alanıyla karışmış durumdadır.
- $\sin(\epsilon)$ karışım parametresi, haberci alanlarının ölçeğiyle sınırlıdır.
- $Q_D = (B - L)$ yüklü SM parçacıkları karanlık foton alanıyla bağdaşır/etkileşir.

Karanlık Foton

Teorinin Lagranjiyeni şu şekilde ifade edilir,

$$\mathcal{L} \supset -\frac{1}{4} W_{\mu\nu}^a W^{a\mu\nu} - \frac{1}{4} B_{\mu\nu}^0 B^{0\mu\nu} - \frac{\sin(\epsilon)}{2} B_{\mu\nu}^0 X^{0\mu\nu} - \frac{1}{4} X_{\mu\nu}^0 X^{0\mu\nu} + \frac{1}{2} M_{X^0} X_{\mu}^0 X^{0\mu} \\ + (D_{\mu} \langle H \rangle) (D_{\mu} \langle H \rangle)^{\dagger} + \bar{f}_i i \not{D} f_i$$

burada $D_{\mu} = \partial_{\mu} - ig\vec{t} \cdot \vec{W}_{\mu} - ig' Y B_{\mu}^0 - ig_D Q_D X_{\mu}^0$ ve $g_D = g_{BL}$ kovaryant türev ve karanlık fotonun bağlaşım sabitidir.

Karanlık Foton

Baz, $(B_\mu^0 W_{3\mu} X_\mu^0)$ 'dan $(B_\mu W_{3\mu} X_\mu)$ 'a aşağıdaki dönüşümle değiştirilecek,

$$R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \sin(\epsilon) \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\epsilon) \end{pmatrix}$$

Karanlık Foton

Dönüşümden sonra, Lagrange'daki kinetik terimler kanonik hale geldi, ancak kütle terimleri köşegen olmayan bir forma sahip. Başlangıçta,

$$\mathcal{L}_{mass} = \frac{1}{4} M_{X^0}^2 X_{\mu\nu}^0 X^{0\mu\nu} + (D_\mu \langle H \rangle) (D_\mu \langle H \rangle)^\dagger$$

$Y = 1/2$ Higgs alanının hiper yükü, $\langle H \rangle = \left(0 \frac{v}{\sqrt{2}}\right)^T$ vakum olası değeri ve $Q_D = 0$ karanlık yüküdür.

Karanlık Foton

Uygulanan ilk dönüşüme ek olarak, Weinberg dönüşüm de uygulanacaktır.

$$R_2 = \begin{pmatrix} \cos \theta_W & \sin \theta_W & 0 \\ -\sin \theta_W & \cos \theta_W & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Karanlık Foton

R_1 ve R_2 dönüşümleri sonrasında, ara bir baz $(A_\mu \hat{W}_{3\mu} X_\mu)$ tanımlanacaktır. Burada foton alanı $A_\mu = \cos \theta_W B_\mu + \sin \theta_W W_{3\mu}$ 'dır ve kütesiz olarak kalır. Kütle Lanranjyeni şu şekilde ifade edilebilir,

$$\mathcal{L}_{mass} = \frac{1}{2} M_{X^0} \sec^2(\epsilon) X_{\mu\nu} X^{\mu\nu} +$$

$$\underbrace{\frac{v^2}{8} (g^2 + g'^2)}_{M_{W_3}^2} \left\{ \underbrace{\cos(\theta_W) W_{3\mu} - \sin(\theta_W) B_\mu}_{\hat{W}_{3\mu} = \cos(\theta_W) W_{3\mu} - \sin(\theta_W) B_\mu} + \sin(\theta_W) \tan(\epsilon) X_\mu \right\}^2$$

Karanlık Foton

Dönüşümler sonrası kütle Lagranjyeni,

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{mass} &= \frac{1}{2} M_{X^0}^2 \sec^2(\epsilon) X_{\mu\nu} X^{\mu\nu} + \frac{1}{2} M_{W_3}^2 \left\{ \hat{W}_{3\mu} + \sin(\theta_W) \tan(\epsilon) X_\mu \right\}^2 \\ &= \left(A_\mu \quad \hat{W}_{3\mu} \quad X_\mu \right) M^2 \begin{pmatrix} A_\mu \\ \hat{W}_{3\mu} \\ X_\mu \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Karanlık Foton

Kütle matrisi,

$$M^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{W_3}^2 & M_{W_3}^2 \tan(\epsilon) \sin(\theta_W) \\ 0 & M_{W_3}^2 \tan(\epsilon) \sin(\theta_W) & M_{X_0}^2 \sec^2(\epsilon) + M_{W_3}^2 \tan^2(\epsilon) \sin^2(\theta_W) \end{pmatrix}$$

Karanlık Foton

Son baz dönüşümü,

$$\left(A_\mu \quad Z_\mu \quad A'_\mu \right) = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & \sin(\beta) \\ 0 & -\sin(\beta) & \cos(\beta) \end{pmatrix}}_{R_3} \begin{pmatrix} A_\mu \\ \hat{W}_{3\mu} \\ X_\mu \end{pmatrix}$$

Karanlık Foton

R_1 , R_2 ve R_3 dönüşümleri uygulandıktan sonra karanlık foton ve Z bosonu kütleleri elde edilmiştir.

$$M_{A'}^2 = M_{W_3}^2 [\sin(\beta) - \cos(\beta) \sin(\theta_W) \tan(\epsilon)]^2 + \frac{M_{X_0}^2 \cos^2(\beta)}{\cos^2(\epsilon)}$$
$$M_Z^2 = M_{W_3}^2 [\cos(\beta) + \sin(\beta) \sin(\theta_W) \tan(\epsilon)]^2 + \frac{M_{X_0}^2 \sin^2(\beta)}{\cos^2(\epsilon)}$$

Karanlık fotonun SM fermiyonları ile etkileşimini elde etmek için Lagrange'daki etkileşim terimlerine aynı dönüşümler uygulanmalıdır.

1 Motivations

2 Vektör Portalı ve Nötrino Elektromanyetik Form Faktörleri

Nötrinin Elektromanyetik Köşe Fonksiyonu

Nötrino Manyetik Momenti ve Yük Yarıçapı

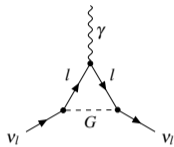
Vektör Portalı

Nötrinin elektromanyetik köşe fonksiyonuna katkıda bulunan diyagramlar

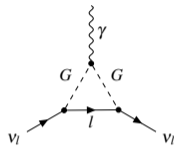
Sonuçlar

3 Conclusions

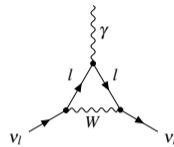
Proper vertices



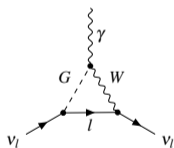
a



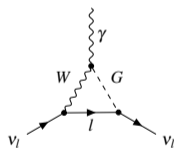
b



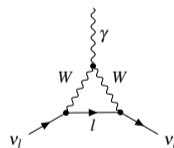
c



d

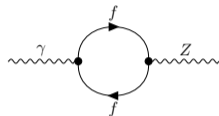


e

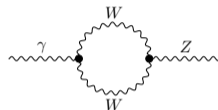


f

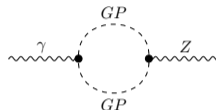
$\gamma - Z$ self energies



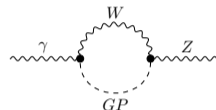
a



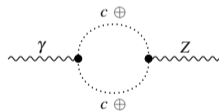
b



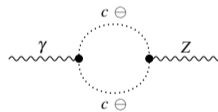
c



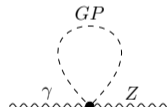
d



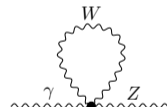
e



f

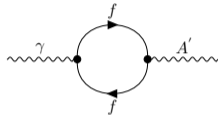


g

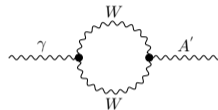


h

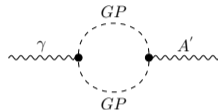
$\gamma - A'$ self energies



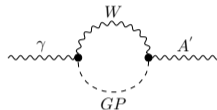
a



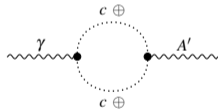
b



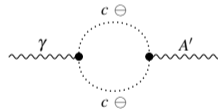
c



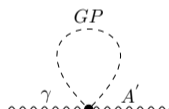
d



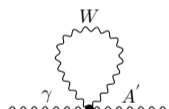
e



f



g



h

1 Motivations

2 Vektör Portalı ve Nötrino Elektromanyetik Form Faktörleri

Nötrinin Elektromanyetik Köşe Fonksiyonu

Nötrino Manyetik Momenti ve Yük Yarıçapı

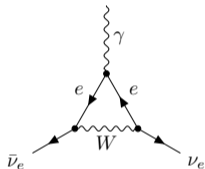
Vektör Portalı

Nötrinin elektromanyetik köşe fonksiyonuna katkıda bulunan diyagramlar

Sonuçlar

3 Conclusions

Nötrino'nun Yük Yarıçapı ve Manyetik Momenti - Manyetik Moment



$$\Lambda_\mu = \frac{ie^3 \cdot \gamma^\nu \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\bar{\gamma}^5}{2}\right) \cdot (\gamma \cdot (k + p_2) + m_e) \cdot \gamma^\mu}{32\pi^4 \sin^2(\theta_W) (k^2 - m_W^2) \left((k + p_1)^2 - m_e^2\right) \left((k + p_2)^2 - m_e^2\right)} \times (\gamma \cdot (k + p_1) + m_e) \cdot \gamma^\alpha \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\bar{\gamma}^5}{2}\right)$$

Nötrino'nun Yük Yarıçapı ve Manyetik Momenti - Manyetik Moment

Dirac denklemini uygulayıp ilmek integrallerini Passarino-Veltman integralleri cinsinden ifade edersek,

$$\Lambda_\mu \supset \frac{1}{32\pi^2 (\sin(\theta_W))^2} ie^3 m_{\nu_e} \cdot (p_2^\mu + p_1^\mu) \left[\begin{aligned} & 2C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) + DC_1 (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ & + 2C_1 (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) + DC_{11} (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ & - 2C_{11} (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ & + DC_{12} (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ & - 2C_{12} (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \end{aligned} \right]$$

Passarino-Veltman İntegralleri

$$T_n^{\mu_1 \dots \mu_p} \equiv \frac{(2\pi\mu)^{4-d}}{i\pi^2} \int d^d k \frac{k^{\mu_1} \dots k^{\mu_p}}{D_0 D_1 D_2 \dots D_{n-1}}$$

$$C^\mu \equiv \frac{(2\pi\mu)^{4-d}}{i\pi^2} \int d^d k k^\mu \prod_{i=0}^2 \frac{1}{[(k+r_i)^2 - m_i^2]}$$

$$C^{\mu\nu} \equiv \frac{(2\pi\mu)^{4-d}}{i\pi^2} \int d^d k k^\mu k^\nu \prod_{i=0}^2 \frac{1}{[(k+r_i)^2 - m_i^2]}$$

Nötrino'nun Yük Yarıçapı ve Manyetik Momenti - Manyetik Moment

Gordon özdeşliği,

$$\bar{\varphi}(p_2) \gamma^\mu \varphi(p_1) = \bar{\varphi}(p_2) \left[\frac{p_2^\mu + p_1^\mu}{2m} + \frac{i\sigma^{\mu\nu} q_\nu}{2m} \right] \varphi(p_1)$$

Nötrino'nun Yük Yarıçapı ve Manyetik Momenti - Manyetik Moment

$$f_M(q^2) = \frac{1}{32\pi^2 (\sin(\theta_W))^2} ie^3 m_{\nu_e} \left[2C_0(m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) \right. \\ + DC_1(m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) + 2C_1(m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ + DC_{11}(m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) - 2C_{11}(m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ + DC_{12}(m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \\ \left. - 2C_{12}(m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \right]$$

Nötrino'nun Yük Yarıçapı ve Manyetik Momenti - Yük Yarıçapı

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{\mu} \supset & - \frac{1}{64\pi^2 (\sin(\theta_W))^2} e^3 \gamma^{\mu} \left[D B_0 (0, m_e^2, m_e^2) + 4 B_0 (m_{\nu_e}^2, m_e^2, m_W^2) \right. \\
 & - 6 B_0 (0, m_e^2, m_e^2) - D m_e^2 C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) \\
 & + D m_W^2 C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) - D m_{\nu_e}^2 C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) \\
 & + 6 m_e^2 C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) \\
 & - 6 m_W^2 C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) + 6 m_{\nu_e}^2 C_0 (m_{\nu_e}^2, m_{\nu_e}^2, 0, m_e^2, m_W^2, m_e^2) \\
 & \left. - 2 D C_{00} (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) + 4 C_{00} (m_{\nu_e}^2, 0, m_{\nu_e}^2, m_W^2, m_e^2, m_e^2) \right]
 \end{aligned}$$

Ultraviolet Divergent Terms - Proper vertices

Proper Vertex Diagrams	
Diagram Label	Divergent part
a	$-\frac{m_e^2 m_W \sin(\theta_W)}{16\pi^2 v^3}$
b	$\frac{m_e^2 m_W \sin(\theta_W)}{16\pi^2 v^3}$
c	$-\frac{m_W^3 \sin(\theta_W)}{8\pi^2 v^3}$
f	$\frac{3m_W^3 \sin(\theta_W)}{8\pi^2 v^3}$

Ultraviolet Divergent Terms - γ - Z self energies

γ - Z Self-Energy Diagrams	
Diagram Label	Divergent part
b	$-\frac{9}{8\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2} \cos(\beta) m_W^4 \sin(\theta_W)$ $[\cos(\beta) \cos(\epsilon) m_W \cos^2(\theta_W) + \cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) - 2g_{BL} \sin(\beta) v \cos(\theta_W)]$
c	$\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2 \cos^2(\theta_W)} m_W^4 \sin(\theta_W)$ $[-\cos^2(\beta) \cos(\epsilon) m_W \cos^4(\theta_W) - 2vg_{BL} \cos(\theta_W) \sin(\theta_W) \times (-\cos^2(\beta) \tan(\epsilon) + \cos(\beta) \sin(\beta) \sin(\theta_W) + \tan(\epsilon)) + \cos(\epsilon) m_W \sin^2(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon))^2 + 2v \cos(\beta) g_{BL} \sin(\beta) \cos^3(\theta_W)]$
d_1	$-\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2 \cos^2(\theta_W)} m_W^4 \sin^2(\theta_W)$ $(\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) [\cos(\beta) \cos(\epsilon) m_W \cos^2(\theta_W) + \cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) - 2g_{BL} \sin(\beta) v \cos(\theta_W)]$
d_2	$\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2 \cos^2(\theta_W)}$ $m_W^4 \sin^2(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon))$ $[m_W \cos(\beta) \cos(\epsilon) \cos^2(\theta_W) + m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) - 2vg_{BL} \sin(\beta) \cos(\theta_W)]$

Ultraviolet Divergent Terms - γ - Z self energies

γ - Z Self-Energy Diagrams	
Diagram Label	Divergent part
e	$\frac{1}{16\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2} m_W^4 \cos(\beta) \sin(\theta_W)$ $[\cos(\beta) \cos(\epsilon) m_W \cos^2(\theta_W) + m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) - 2g_{BL} \sin(\beta) v \cos(\theta_W)]$
f	$\frac{1}{16\pi^2 \cos(\epsilon) v^3 m_Z^2} \cos(\beta) m_W^4 \sin(\theta_W)$ $[\cos(\beta) \cos(\epsilon) m_W \cos^2(\theta_W) + \cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) - 2g_{BL} \sin(\beta) v \cos(\theta_W)]$
g	$-\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2 \cos^2(\theta_W)} m_W^4 \sin(\theta_W)$ $[- m_W \cos^2(\beta) \cos(\epsilon) \cos^4(\theta_W) - 2vg_{BL} \cos(\theta_W) \sin(\theta_W) (- \cos^2(\beta) \tan(\epsilon) + \tan(\epsilon) + \cos(\beta) \sin(\beta) \sin(\theta_W)) + \cos(\epsilon) m_W \sin^2(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon))^2 + 2vg_{BL} \cos(\beta) \sin(\beta) \cos^3(\theta_W)]$
h	$\frac{3}{4\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) m_Z^2} \cos(\beta) m_W^4 \sin(\theta_W)$ $[\cos(\beta) \cos(\epsilon) m_W \cos^2(\theta_W) + \cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\cos(\beta) \sin(\theta_W) + \sin(\beta) \tan(\epsilon)) - 2vg_{BL} \sin(\beta) v \cos(\theta_W)]$

Ultraviolet Divergent Terms - $\gamma - A'$ self energies

$\gamma - A'$ Self-Energy Diagrams	
Diagram Label	Divergent part
b	$-\frac{9}{8\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) M_{A'}^2 m_W^4 \sin(\beta) \sin(\theta_W)} [m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon)) + 2vg_{BL} \cos(\beta) \cos(\theta_W) + m_W \cos(\epsilon) \sin(\beta) \cos^2(\theta_W)]$
c	$-\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos^2(\theta_W) \cos(\epsilon) M_{A'}^2 m_W^4 \sin(\theta_W)} [\sin(\theta_W) (\cos(\beta) \tan(\epsilon) - \sin(\beta) \sin(\theta_W)) + \sin(\beta) \cos^2(\theta_W)] [m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon)) + 2vg_{BL} \cos(\beta) \cos(\theta_W) + \cos(\epsilon) \sin(\beta) m_W \cos^2(\theta_W)]$
d₁	$\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos^2(\theta_W) \cos(\epsilon) M_{A'}^2 m_W^4 \sin^2(\theta_W)} [\cos(\beta) \tan(\epsilon) - \sin(\beta) \sin(\theta_W)] [m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon)) + 2vg_{BL} \cos(\beta) \cos(\theta_W) + \cos(\epsilon) \sin(\beta) m_W \cos^2(\theta_W)]$
d₂	$\frac{1}{8\pi^2 v^3 \cos^2(\theta_W) \cos(\epsilon) M_{A'}^2 m_W^4 \sin^2(\theta_W)} [\cos(\beta) \tan(\epsilon) - \sin(\beta) \sin(\theta_W)] [m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon)) + 2vg_{BL} \cos(\beta) \cos(\theta_W) + m_W \cos(\epsilon) \sin(\beta) \cos^2(\theta_W)]$



Ultraviolet Divergent Terms - $\gamma - A'$ self energies

$\gamma - A'$ Self-Energy Diagrams	
Diagram Label	Divergent part
e	$\frac{1}{16\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) M_{A'}^2} m_W^4 \sin(\beta) \sin(\theta_W)$ $[\cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon))$ $+ 2v g_{BL} \cos(\beta) \cos(\theta_W) + \cos(\epsilon) \sin(\beta) m_W \cos^2(\theta_W)]$
f	$\frac{1}{16\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) M_{A'}^2} m_W^4 \sin(\beta) \sin(\theta_W)$ $[\cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon))$ $+ 2 \cos(\beta) g_{BL} v \cos(\theta_W) + \cos(\epsilon) \sin(\beta) m_W \cos^2(\theta_W)]$
g	$\frac{1}{8\pi^2 v^3 M_{A'}^2 \cos(\epsilon) \cos^2(\theta_W)} m_W^4 \sin(\theta_W) [\sin(\theta_W) (\cos(\beta) \tan(\epsilon)$ $- \sin(\beta) \sin(\theta_W)) + \sin(\beta) \cos^2(\theta_W)]$ $[\cos(\epsilon) m_W \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon))$ $+ 2 \cos(\beta) g_{BL} v \cos(\theta_W) + \cos(\epsilon) \sin(\beta) m_W \cos^2(\theta_W)]$
h	$\frac{3}{4\pi^2 v^3 \cos(\epsilon) M_{A'}^2} m_W^4 \sin(\beta) \sin(\theta_W)$ $[m_W \cos(\epsilon) \sin(\theta_W) (\sin(\beta) \sin(\theta_W) - \cos(\beta) \tan(\epsilon))$ $+ 2v g_{BL} \cos(\beta) \cos(\theta_W) + m_W \cos(\epsilon) \sin(\beta) \cos^2(\theta_W)]$

Nötrinonun Yük Yarıçapı ve Manyetik Momenti

- Nötrinonun manyetik momentine yalnızca uygun köşelerden katkı gelmektedir.
- Karanlık fotondan uygun köşe diyagramlarına hiçbir katkı gelmemektedir.
- Tek ilmek integraller, Mathematica paketleri, FeynCalc ve FeynArts yardımıyla hesaplanmıştır.
- Tek ilmek integraller Passarino-Veltman fonksiyonlarına dönüştürülmüş ve PackageX yardımıyla integraller alınarak açık formları elde edilmiştir.
- Ultraviyole iraksak terimleri içeren diyagramların toplamı sıfır olarak bulunmuştur.
- Standart Model limiti (SM içeriğine sağ-elli nötrinolar eklenerek) kontrol edildi ve doğrulandı.
- Nötrino yük yarıçapının ölçülebilir bir değer olduğu bulunmuştur.

① Motivations

② Vektör Portalı ve Nötrino Elektromanyetik Form Faktörleri

③ Conclusions

Conclusions

- $U_{B-L}(1)$ modelinde nötrinoya ait iki elektromanyetik form faktörü olan nötrino manyetik momenti ve nötrino yük yarıçapı hesaplanmıştır.
- Karanlık foton sektöründen nötrino manyetik momentine tek ilmek düzeyinde hiçbir katkının olmadığı bulunmuştur.
- Eldeki karanlık senaryodan nötrino yük yarıçapına ölçülebilir bir katkı olduğu gösterilmiştir.
- Gelecekteki çalışmalarda, nötrino yük yarıçapı için elde edilen analitik sonuç, $U_{B-L}(1)$ modelinin parametre uzayını sınırlamak için kullanılacaktır. Nötrino-elektron saçılımı ve koherent elastik nötrino-çekirdek saçılımı $CE\nu NS$ gibi saçılma deneylerinden elde edilen veriler, bu amaç için kullanılabilir, çünkü yük yarıçapı diyagramları, yukarıda bahsedilen saçılma süreçlerine de katkıda bulunur ve hafif karanlık foton bölgesine duyarlıdır.

Kaynaklar I

- [1] W.A. Bardeen, R. Gastmans, and B. Lautrup. “Static quantities in Weinberg’s model of weak and electromagnetic interactions”. In: *Nuclear Physics B* 46.1 (1972), pp. 319–331. ISSN: 0550-3213. DOI: [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(72\)90218-0](https://doi.org/10.1016/0550-3213(72)90218-0). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0550321372902180>.
- [2] S. Y. Lee. “Higher-Order Corrections to Leptonic Processes and the Renormalization of Weinberg’s Theory of Weak Interactions in the Unitary Gauge”. In: *Phys. Rev. D* 6 (6 1972), pp. 1701–1717. DOI: [10.1103/PhysRevD.6.1701](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.6.1701). URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.6.1701>.

Kaynaklar III

- [6] J. Bernabé u et al. “Charge radius of the neutrino”. In: *Physical Review D* 62.11 (2000). DOI: [10.1103/physrevd.62.113012](https://doi.org/10.1103/physrevd.62.113012). URL: <https://doi.org/10.1103%5C%2Fphysrevd.62.113012>.
- [7] J. Bernabé u, J. Papavassiliou, and J. Vidal. “Observability of the Neutrino Charge Radius”. In: *Physical Review Letters* 89.10 (2002). DOI: [10.1103/physrevlett.89.101802](https://doi.org/10.1103/physrevlett.89.101802). URL: <https://doi.org/10.1103%5C%2Fphysrevlett.89.101802>.
- [8] J. Bernabéu, J. Papavassiliou, and J. Vidal. “The neutrino charge radius as a physical observable”. In: *Nuclear Physics B* 680.1-3 (2004), pp. 450–478. DOI: [10.1016/j.nuclphysb.2003.12.025](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2003.12.025). URL: <https://doi.org/10.1016%5C%2Fj.nuclphysb.2003.12.025>.

Kaynaklar IV

- [9] Kazuo Fujikawa and Robert Shrock. *Comment on "Observability of the Neutrino Charge Radius"*. 2003. DOI: 10.48550/ARXIV.HEP-PH/0303188. URL: <https://arxiv.org/abs/hep-ph/0303188>.
- [10] Kazuo Fujikawa and Robert Shrock. "Neutrino electroweak radius". In: *Physical Review D* 69.1 (2004). DOI: 10.1103/physrevd.69.013007. URL: <https://doi.org/10.1103/5C%2Fphysrevd.69.013007>.
- [11] J. Papavassiliou et al. "The effective neutrino charge radius". In: *The European Physical Journal C* 33.S1 (2003), s865–s867. DOI: 10.1140/epjcd/s2003-03-920-7. URL: <https://doi.org/10.1140/5C%2Fepjcd%2Fs2003-03-920-7>.

