مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (6) العدد (3) 2022

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies –Basic Sciences Series Vol. (6) No. (3) 2022

دراسة تغيرات الطاقة التي يحملها الزوج النيوترينوي $(\upsilon_i \bar{\upsilon}_i)$ المتولد نتيجة التفاعل $e^+e^- \to \upsilon_i \bar{\upsilon}_i \ (i = e, \mu)$ إلى خارج وسط النجم الحار

د.محمد ابراهيم*

د.خولة حسين**

علاء اسماعيل***

(تاريخ الإيداع 9/3/ 2022 – تاريخ النشر 25 /4/ 2022)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث استنتاج علاقة المقطع العرضي للتفاعل $e^+e^- \to \upsilon_i \bar{\upsilon}_i \ (i = e, \mu)$ المتشكل في وسط النجم الحار من أجل حساب الطاقة المفقودة من النجوم في المجال الحراري $[10^9 - 10^{11}]\ K$.

وأخذت التأثيرات الكهرطيسية للنيوترينو في مجال التفاعل و تبين أن معظم الطاقة المفقودة من النجم الحار يحملها الزوج النيوترينوي $(\upsilon_e \bar{\upsilon}_e)$ إلى الفضاء الخارجي بعيداً عن وسط النجم وهذه النتيجة تشير إلى قرب موت هذا النجم.

و تم أيضاً دراسة الانحراف عن النموذج المعياري التي تسببه التأثيرات الكهرومغناطيسية للنيوترينو وعلاقته بدرجة حرارة وسط النجم.

الكلمات المفتاحية: نيوترينو ، مقطع عرضي، وسط النجم الحار، التأثيرات الكهرطيسية للنيوترينو

* أستاذ مساعد في قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة طرطوس – سوريا

** محاضر (مديرة أعمال) في قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة تشرين – سوريا

*** طالب ماجستير – قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة طرطوس – سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (6) العدد (3) 2022

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies –Basic Sciences Series Vol. (6) No. (3) 2022

ried by the neutrino pair $(\upsilon_i \bar{\upsilon}_i)$ generated as a result of the interaction $e^+e^- \to \upsilon_i \bar{\upsilon}_i \ (i = e, \mu)$ outside the hot star medium

Dr. Mohamed Ibrahim*
Dr. Khawla Hussein**
Alaa Ismail***

(Received 9/3/2022.Accepted 25/4/2022)

□ABSTRACT □

In This Paper, The cross – section forma of the interaction $e^+e^- \to \upsilon_i \bar{\upsilon}_i \ (i = e, \mu)$ formed in the hot star medium was deduced to calculate the energy lost from stars in the thermal range $[10^9 - 10^{11}] K$.

The electromagnetic effects of the neutrino were activated in this loss, as it was found that most of the lost energy from the hot star is carried by the neutrino pair $(\upsilon_e \bar{\upsilon}_e)$ to outer space away from the star medium.

This resulte is an indication of the imminent death this star..

The deviation from the Standard Model caused by the electromagnetic effects of the neutrino and its relationship to the temperature of the star medium were also studied.

Keywords: neutrino, Cross-section, hot star medium , Electromagnetic effects of neutrino

* Assistant professor in the Department of Physics - Faculty of Science - Tartous University – Syria

** Lecturer in the Department of Physics - Faculty of Science - Tishreen University – Syria

***Postgraduate Student (Master) - Department of Physics - Faculty of Science - Tartous University – Syria.

مقدمة:

بعيداً عن الآليات المختلفة التي تبحث في عملية انبعاث النيوترينو من النجوم الحارة عند المراحل النهائية لحياتها، نجد أنَه في الوقت الذي تبدأ فيه الحرارة بالإرتفاع عن القيمة $10^8 K$ فإن آلية فقدان هذه الطاقة بواسطة النيوترينو تعتمد على حقيقة أنَ فقدان الطاقة يتناسب طرداً مع ارتفاع درجة الحرارة بغض النظر عن أسباب هذا الارتفاع [6,3]

تنطلق النيوترينوات بعيداً عن النجم بعد تشكلها ودون عائق يذكر لأنَها تتفاعل بشكل ضعيف مع المادة ولذلك فهي تستطيع النفوذ من خلال محيط النجم حاملة معها طاقة النجم الذي انطلقت منه[7,2] .

يبدأ التفاعل $e^+e^- \rightarrow \upsilon_i \overline{\upsilon}_i \,(i=e,\mu)$ بالظهور عند درجات حرارة عالية وكثافات يمكن قياسها ومن هنا تأتي أهمية دراسة التفاعل $e^+e^- \rightarrow \upsilon_i \overline{\upsilon}_i \,(i=e,\mu)$ لحساب الطاقة المفقودة من النجوم الحارة عن طريق الزوج المتولد $(\upsilon_i \overline{\upsilon}_i)$ودور التأثير الكهرومغناطيسي في ذلك من خلال الوسطاء الكهرومغناطيسية للنيوترينونات المشاركة في مجال التفاعل [8].

هدف البحث وأهميته:

يهدف البحث إلى استنتاج علاقة المقطع العرضي التفاضلي للتفاعل المذكور بعد إدخال التأثيرات الكهرومغناطيسية للنيوترينو ، ودراسة الطاقة المفقودة من النجم الحار والتي يحملها الزوج النيوترينوي $(\upsilon_i \overline{\upsilon}_i)\,,\, i=e,\mu$ بعد انطلاقه بعيداً عن محيط النجم الحار بعد تشكيله من جرّاء فناء الزوج(e^+e^-).

تكمن أهمية البحث في دراسة تغيرات الطاقة المفقودة بتابعية درجة الحرارة واستنتاج الانحراف عن النموذج المعياري.

طريقة البحث ومواده:

استنتاج المقطع العرضي التفاضلي للتفاعل بمساهمة لولبية النيوترينو وسبين الالكترون [12,14]:

أولاً: مجال التفاعل بمساهمة التيارات المحايدة:

يعطى مجال تخليق الزوج $\upsilon_e \overline{\upsilon}_e$ بمساهمة التيار المحايد بالعلاقة التالية:

$$M_{Z_0} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} m_{Z_0}^2 \left[\overline{U}_{\upsilon} \gamma_\alpha \left(1+\gamma^5\right) U_{\bar{\upsilon}} \right] \left[\overline{U}_{e^+} \gamma_\beta \left(g_{Ve} + g_{Ae}\gamma^5\right) U_{e^-} \right] D_{\alpha\beta}^{Z_0}$$

حيث أن :

$$D_{\alpha\beta}^{Z_0} = -\frac{g^{\alpha\beta} - q^\alpha q^\beta / m_{Z_0}^2}{q^2 - m_{Z_0}^2 - i\Gamma_Z m_{Z_0}} \approx \frac{1}{m_{Z_0}^2} \frac{g^{\alpha\beta}}{1 - S/m_{Z_0}^2 + i\Gamma_Z m_{Z_0}}$$

$$S = \left(p_- + p_+\right)^2 = \left(k_+ + k_-\right)^2 \equiv q^2$$

حيث:

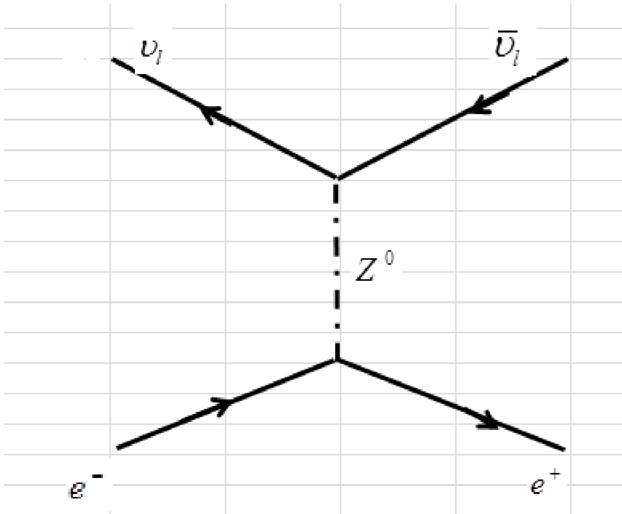
Γ_Z هو عرض البوزون Z_0 و G_F : ثابت فيرمي

بفرض أن $q^2 \langle\langle m_{Z_0}^2$ ومنه نجد :

$$D_{\alpha\beta}^{Z_0} \cong \frac{1}{m_{Z_0}^2}\frac{1}{1-S/m_{Z_0}^2}$$

وبالتالي يصبح مجال التفاعل على الشكل الآتي :

$$M_{Z_0} = \frac{G_F}{\sqrt{2}}\left[\overline{U}_{\upsilon}\gamma_\alpha\left(1+\gamma^5\right)U_{\bar{\upsilon}}\right]\left[\overline{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(\frac{g_{Ve}}{1-S/m_{Z_0}^2}+\frac{g_{Ae}}{1-S/m_{Z_0}^2}\gamma^5\right)U_{e^-}\right]$$



الشكل (1) يوضح مخطط فاينمان الموافق للتفاعل :

$$e^- e^+ \to \upsilon_i\ \bar{\upsilon}_i\ (i=\mu,\tau)$$

<u>ثانياً:مجال التفاعل بمساهمة التيارات المشحونة [12,14]: :</u>

يعطى مجال التفاعل بمساهمة التيارات المشحونة بالعلاقة التالية:

$$M_w = \frac{G_F}{\sqrt{2}} m_w^2 \left[\overline{U}_{\upsilon}\gamma_\alpha\left(1+\gamma_5\right)U_{e^-}\right]\left[\overline{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(1+\gamma_5\right)U_{\bar{\upsilon}}\right]D'^{w}_{\alpha\beta}$$

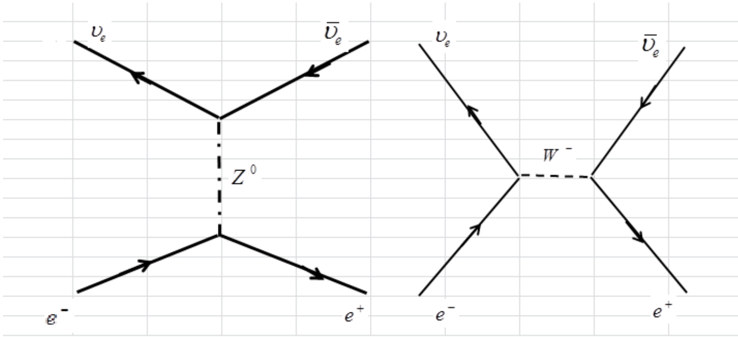
حيث أن :

$$D'^{w}_{\alpha\beta} = \frac{1}{m_w^2}\frac{1}{1-t/m_w^2}$$

$$t = \left(p_- - k_-\right)^2 = \left(k_+ - p_+\right)^2$$

وهكذا يصبح مجال التفاعل معطى بالعلاقة التالية :

$$M_w = \frac{G_F}{\sqrt{2}}\left[\overline{U}_{\upsilon}\gamma_\alpha\left(1+\gamma_5\right)U_{e^-}\right]\frac{1}{1-t/m_w^2}\left[\overline{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(1+\gamma_5\right)U_{\bar{\upsilon}}\right]$$



الشكل (2) يوضح مخطط فاينمان الموافق للتفاعل:

$$e^- e^+ \to \upsilon_e \, \bar{\upsilon}_e$$

ثالثا : المطال الكلي للتأثيرات الضعيفة :

يعطى المجال الكلي للتأثيرات الضعيفة والمساهمة في المقطع العرضي للتفاعل بالعلاقة التالية :[12,14]

$$M_{tot}^{WE} = M_{Z_0} + M_{w^{\pm}} =$$

$$= \frac{G_f}{\sqrt{2}} \left[\overline{U}_{\upsilon} \gamma_{\alpha} \left(1+\gamma^5\right) U_{\bar{\upsilon}} \right] \left[\overline{U}_{e^+} \gamma_{\beta} \left(g_V + g_A \gamma^5 \right) U_{e^-} \right]$$

حيث:

$$; \left\{ \begin{matrix} g_{Ve} == \frac{1}{2} + 2\sin^2\theta_w \\ g_{Ae} = +\frac{1}{2} \end{matrix} \right\} when : \upsilon \equiv \upsilon_e \; \left\{ \begin{matrix} g_V = \frac{g_{Ve}}{1 - S/m_Z^2} + \frac{1}{1 - t/m_w^2} \\ g_A = \frac{g_{Ae}}{1 - S/m_Z^2} + \frac{1}{1 - t/m_w^2} \end{matrix} \right\}$$

$$; \left\{ \begin{matrix} g_{Ve} = -\frac{1}{2} + 2\sin^2\theta_w \\ g_{Ae} = -\frac{1}{2} \end{matrix} \right\} when : \upsilon \equiv \upsilon_{\mu,\tau}$$

رابعا : مساهمة التأثيرات الكهرطيسية:

تعطى مساهمة التأثيرات الكهرطيسية في المقطع العرضي للتفاعل بالعلاقة التالية [13] :

$$M^{EM} = \frac{4\pi\alpha}{q^2} \left(\overline{U_{e^+}} \gamma_{\mu} U_{e^-} \right) \overline{U_{\upsilon}} \left(f_{m\upsilon} \gamma_{\mu} + g_{1\upsilon} \gamma_{\mu} \gamma^5 - f_{2\upsilon} \frac{p^{\mu}}{2m_e} - i g_{2\upsilon} \frac{p^{\mu}}{2m_e} \gamma^5 \right) U_{\bar{\upsilon}}$$

حيث:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi}, f_{m\upsilon} = f_{1\upsilon} + \frac{m_{\upsilon}}{m_e} f_{2\upsilon}, p^{\mu} = k_-^{\mu} + k_+^{\mu}$$

هنا $g_{2\upsilon}, f_{2\upsilon}, g_{1\upsilon}, f_{1\upsilon}$ معاملات (وسطاء) الشكل : الديراكي و الأنابولي و المغناطيسي ، و الكهربائي للنيوترينو على الترتيب. ومن جهة أخرى لدينا:

$$f_{1\upsilon}\left(q^2\right)=\frac{1}{6}a^2q^2\,,\,g_{1\upsilon}\left(q^2\right)=\frac{1}{6}b^2q^2$$

حيث أن a,b أنصاف أقطار تربعية وسطى لمعاملي الشكل الديراكي و الأنابولي .

<u>خامساً:</u> استنتاج العلاقة العامة لمجال التأثيرات الضعيفة والكهرومغناطيسية للتفاعل [13]

$$M=M^{WE}+M^{EM}$$
$$=\frac{G_f}{\sqrt{2}}\overline{U_\upsilon}\gamma_\alpha\left(1+\gamma^5\right)U_{\bar{\upsilon}}\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(g_V+g_A\gamma^5\right)U_{e^-}$$

$$+\frac{4\pi\alpha}{q^2}\bar{U}_{e^+}\gamma_\mu U_{e^-}\overline{U_\upsilon}\left(f_{m\upsilon}\gamma_\mu+g_{1\upsilon}\gamma_\mu\gamma^5-f_{2\upsilon}\frac{p^\mu}{2m_e}-ig_{2\upsilon}\frac{p^\mu}{2m_e}\gamma^5\right)$$

حيث أن :

$$\bar{U}_\upsilon=\bar{U}\left(k_-,\eta_-\right),U_{\bar{\upsilon}}=U\left(k_+,\eta_+\right)$$
$$\bar{U}_{e^+}=\bar{U}\left(p_+,s_+\right),U_{e^-}=U\left(p_-,s_-\right)$$
$$P_-=P_-\left(E_-,\vec{P}_-\right),P_+=P_+\left(E_+,\vec{P}_+\right)$$
$$k_-=k_-\left(E_\upsilon,\vec{k}_-\right),k_+=k_+\left(E_{\bar{\upsilon}},\vec{k}_+\right)$$

η_- ، η_+ تعبر عن لولبية النيوترينو و النيوترينو المضاد على الترتيب . s_- ، s_+ تعبر عن لولبية الإلكترون و البوزيترون على الترتيب . E_- ، E_+ تعبر عن طاقة الإلكترون و البوزيترون على الترتيب . E_υ ، $E_{\bar{\upsilon}}$ تعبر عن طاقة النيوترينو و النيوترينو المضاد على الترتيب .

نعتبر النيوترينو يساري التوجه و هذا يتفق مع التجربة و بالتالي يمكن مقابلة اللولبية η_- بالمصفوفة $-\gamma^5$ و هذا يتفق مع مؤثر اليدوانية اليساري $\frac{1+\gamma^5}{2}$ و بالتالي يمكن أن نكتب المطال بالشكل التالي [13] :

$$M=\frac{G_f}{\sqrt{2}}\left(1-\eta_-\right)\left(\bar{U}_\upsilon\gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)\left[\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(g_V+g_A\gamma^5\right)U_{e^-}\right]+\frac{4\pi\alpha}{q^2}\left(\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta U_{e^-}\right)\times$$
$$\times\left[\left(f_{m\upsilon}-\eta_-g_{1\upsilon}\right)\left(\bar{U}_\upsilon\gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)-\left(f_{2\upsilon}-i\eta_-g_{2\upsilon}\right)\left(\bar{U}_\upsilon\frac{p^\mu}{2m_e}U_{\bar{\upsilon}}\right)\right]$$
$$=\frac{G_f}{\sqrt{2}}\left(\bar{U}_\upsilon\gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)\left[\left(1-\eta_-\right)\left[\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(g_V+g_A\gamma^5\right)U_{e^-}\right]+\frac{4\sqrt{2}\pi\alpha}{q^2G_f}\left(f_{m\upsilon}-\eta_-g_{1\upsilon}\right)\left(\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta U_{e^-}\right)\right]$$
$$=-\frac{G_f}{\sqrt{2}}\left(f_{2\upsilon}-i\eta_-g_{2\upsilon}\right)\left(\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta U_{e^-}\right)\left(\bar{U}_\upsilon\frac{p^\mu}{2m_e}U_{\bar{\upsilon}}\right)$$
$$=\frac{G_f}{\sqrt{2}}\left(\bar{U}_\upsilon\gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)\left\{\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left[\left(1-\eta_-\right)g_V+\frac{4\sqrt{2}\pi\alpha}{q^2G_f}\left(f_{m\upsilon}-\eta_-g_{1\upsilon}\right)+\left(1-\eta_-\right)g_A\gamma^5\right]U_{e^-}\right\}$$
$$-\frac{G_f}{\sqrt{2}}\frac{4\sqrt{2}\pi\alpha}{q^2G_f}\left(f_{2\upsilon}-i\eta_-g_{2\upsilon}\right)\left(\bar{U}_{e^+}\frac{\gamma_\beta p^\mu}{2m_e}U_{e^-}\right)\left(\bar{U}_\upsilon U_{\bar{\upsilon}}\right)$$

وأخيراً بعد الاصلاح نكتب:

$$M = \frac{G_f}{\sqrt{2}}\left(\bar{U}_\upsilon \gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)\left[\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(C_V + C_A\gamma^5\right)U_{e^-}\right] - \frac{G_f}{\sqrt{2}}\left|C_{2\upsilon}\right|\left(\bar{U}_\upsilon U_{\bar{\upsilon}}\right)\left(\bar{U}_{e^+}\frac{\hat{p}}{2m_e}U_{e^-}\right)$$

حيث أن :

$$C_V = \left(1-\eta_-\right)g_V + \frac{4\sqrt{2}\pi\alpha}{q^2 G_f}\left(f_{m\upsilon} - \eta_- g_{1\upsilon}\right)$$

$$C_A = \left(1-\eta_-\right)g_V$$

$$\left|C_{2\upsilon}\right| = \left|\frac{4\sqrt{2}\pi\alpha}{q^2 G_f}\left(f_{2\upsilon} - i\,\eta_- g_{2\upsilon}\right)\right|, \hat{p} = \gamma_\beta p^\mu$$

حساب العنصر المصفوفي للتفاعل :

يحسب العنصر المصفوفي للتفاعل من خلال العلاقة [12] :

$$M = M_1 - M_2$$

$$M_1 = \frac{G_f}{\sqrt{2}}\left(\bar{U}_\upsilon \gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)\left[\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(C_V + C_A\gamma^5\right)U_{e^-}\right]$$

$$M_2 = \frac{G_f}{\sqrt{2}}\left|C_{2\upsilon}\right|\left(\bar{U}_\upsilon U_{\bar{\upsilon}}\right)\left(\bar{U}_{e^+}\frac{\hat{p}}{2m_e}U_{e^-}\right)$$

لدينا:

$$\left|\bar{M}\right|^2 = \left|\bar{M}_1\right|^2 + \left|\bar{M}_2\right|^2 - 2\,\mathrm{Re}\,M_1 \cdot M_2^*$$

$$= \left|\bar{M}_1\right|^2 + \left|\bar{M}_2\right|^2$$

لأن:

$$\mathrm{Re}\,M_1 M_2^* = \frac{G_f^2}{2}C_{2\upsilon}Tr\left(\hat{\Lambda}_\upsilon\gamma_\alpha\hat{\Lambda}_\upsilon\right)Tr\left(\hat{\Lambda}_{e^+}\gamma_\beta\left(C_V + C_A\gamma^5\right)\hat{\Lambda}_{e^-}\frac{\hat{p}}{2}\right) = 0$$

$$\left|\bar{M}_1\right|^2 = M_1 \cdot M_1^* =$$

$$= \frac{G_f^2}{2}\left(\bar{U}_\upsilon\gamma_\alpha U_{\bar{\upsilon}}\right)\left(\bar{U}_{\bar{\upsilon}}\gamma^\alpha U_\upsilon\right)\left[\bar{U}_{e^+}\gamma_\beta\left(C_V + C_A\gamma^5\right)U_{e^-}\right]\left[\bar{U}_{e^-}\gamma^\beta\left(C_V + C_A\gamma^5\right)U_{e^+}\right]$$

$$= \frac{G_f^2}{2}Tr\left(\hat{\Lambda}_\upsilon\gamma_\mu\hat{\Lambda}_{\bar{\upsilon}}\gamma_\upsilon\right)Tr\left(\hat{\Lambda}_{e^+}\gamma_\mu\left(C_V + C_A\gamma^5\right)\hat{\Lambda}_{e^-}\gamma_\upsilon\left(C_V + C_A\gamma^5\right)\right)$$

حيث تعرف المؤثرات المصفوفية (مصفوفات الكثافة) بالعلاقات التالية :

$$\hat{\Lambda}_{\bar{\upsilon}} = \frac{1}{2}\hat{k}_+\left(1-\eta_+\gamma^5\right)\ \hat{\Lambda}_\upsilon = \frac{1}{2}\hat{k}_-\left(1+\eta_-\gamma^5\right);$$

$$,\ \hat{\Lambda}_{e^+} = \frac{1}{2}\left(\hat{p}_+ + m_e\right)\left(1+\hat{S}_+\gamma^5\right)\ \hat{\Lambda}_{e^-} = \frac{1}{2}\left(\hat{p}_- - m_e\right)\left(1+\hat{S}_-\gamma^5\right)$$

وبالتالي نكتب باختصار:

$$\left|\bar{M}_1\right|^2 = \frac{G_f^2}{2}L_{\mu\upsilon}^{\upsilon\bar{\upsilon}}L_{\mu\upsilon}^{e^-e^+}$$

حيث:

$$L_{\mu\upsilon}^{\upsilon\bar{\upsilon}} = Tr\left(\hat{\Lambda}_\upsilon\gamma_\mu\hat{\Lambda}_{\bar{\upsilon}}\gamma_\upsilon\right) = \frac{1}{4}Tr\left[\hat{k}_-\left(1+\eta_-\gamma^5\right)\gamma_\mu\hat{k}_+\left(1-\eta_+\gamma^5\right)\gamma_\upsilon\right]$$

$$=\frac{1}{4}(1-\eta_-\eta_+)Tr\left[\hat{k}_-\gamma_\mu\hat{k}_+\gamma_\upsilon+\eta_+\hat{k}_-\gamma_\mu\hat{k}_+\gamma_\upsilon\gamma^5\right]$$

بتطبيق قوانين الأثر Tr على المصفوفات نجد أن :

$$L_{\mu\upsilon}^{\upsilon\bar{\upsilon}}=(1-\eta_-\eta_+)\left[k_-^\mu k_+^\upsilon+k_-^\upsilon k_+^\mu-(k_-k_+)g^{\mu\upsilon}-i\eta_+k_-^{\rho'}k_+^{\rho}\varepsilon_{\rho'\mu\rho\upsilon}\right]$$

وبنفس الطريقة نجد:

$$L_{\mu\upsilon}^{e^-e^+}=Tr\left[\hat{\Lambda}_{e^+}\gamma_\mu\left(C_V+C_A\gamma^5\right)\hat{\Lambda}_{e^-}\gamma_\upsilon\left(C_V+C_A\gamma^5\right)\right]$$

$$=\frac{1}{4}Tr\{\left(C_V{}^2+C_A{}^2\right)\times\left[\hat{p}_+\gamma_\mu\hat{p}_-\gamma_\upsilon+m_e\hat{p}_+\gamma_\mu\hat{S}_-\gamma_\upsilon\gamma^5-m_e\hat{S}_+\gamma^5\gamma_\mu\hat{p}_-\gamma_\upsilon-m_e{}^2\hat{S}_+\gamma_\mu\hat{S}_-\gamma_\upsilon\right]$$
$$+2C_VC_A\times\left[\hat{p}_+\gamma_\mu\hat{p}_-\gamma_\upsilon\gamma^5+m_e\hat{p}_+\gamma_\mu\hat{S}_-\gamma_\upsilon-m_e\hat{S}_+\gamma_\mu\hat{p}_-\gamma_\upsilon-m_e{}^2\hat{S}_+\gamma_\mu\hat{S}_-\gamma_\upsilon\gamma^5\right]$$
$$+\left(C_V{}^2-C_A{}^2\right)\times\left[-\hat{p}_+\hat{S}_+\gamma_\mu\hat{p}_-\hat{S}_-\gamma_\upsilon-m_e\gamma_\mu\hat{p}_-\hat{S}_-\gamma_\upsilon\gamma^5-m_e\hat{p}_+\hat{S}_+\gamma_\mu\gamma_\upsilon\gamma^5-m_e{}^2\gamma_\mu\gamma_\upsilon\right]\}$$

وبتطبيق قوانين الأثر نجد في النهاية التالي :

$$L_{\mu\upsilon}^{e^-e^+}=\left(C_V^2+C_A^2\right)\{p_+^\mu p_-^\upsilon-\left(p_+p_-\right)g^{\mu\upsilon}+p_+^\upsilon p_-^\mu-im_ep_+^{\alpha'}S_-^{\beta}\xi_{\alpha'\mu\beta\upsilon}$$
$$+im_eS_+^{\beta'}p_-^{\alpha}\xi_{\beta'\mu\alpha\upsilon}-m_e{}^2\left[S_+^\mu S_-^\upsilon-\left(S_+S_-\right)g^{\mu\upsilon}+S_+^\upsilon S_-^\mu\right]\}$$
$$-2C_VC_A\{ip_+^{\alpha'}p_-^{\alpha}\xi_{\alpha'\mu\alpha\upsilon}-m_e\left[p_+^\mu S_-^\upsilon-\left(p_+S_-\right)g^{\mu\upsilon}+p_+^\upsilon S_-^\mu\right]$$
$$+m_e\left[S_+^\mu p_-^\upsilon-\left(S_+p_-\right)g^{\mu\upsilon}+S_+^\upsilon p_-^\mu\right]-im_e{}^2S_+^{\beta'}S_-^{\beta}\xi_{\beta'\mu\beta\upsilon}\}$$
$$-\left(C_V^2-C_A^2\right)\{\left(p_+S_+\right)\left[p_-^\mu S_-^\upsilon-\left(p_-S_-\right)g^{\mu\upsilon}+p_-^\upsilon S_-^\mu\right]$$
$$-\left[\left(S_+p_-\right)p_+^\mu S_-^\upsilon-\left(S_+S_-\right)p_+^\mu p_-^\upsilon+\left(p_-S_-\right)p_+^\mu S_+^\upsilon\right]+\left(p_+p_-\right)\left[S_+^\mu S_-^\upsilon-\left(S_+S_-\right)g^{\mu\upsilon}+S_+^\upsilon S_-^\mu\right]$$
$$-\left(p_+S_-\right)\left[S_+^\upsilon p_-^\mu+S_+^\mu p_-^\upsilon-\left(S_+p_-\right)g^{\mu\upsilon}\right]+\left[\left(S_+S_-\right)p_+^\upsilon p_-^\mu+\left(p_-S_-\right)p_+^\upsilon S_+^\mu-\left(S_+p_-\right)p_+^\upsilon S_-^\mu+m_e{}^2g^{\mu\upsilon}\right]$$
$$-im_ep_+^{\alpha'}S_+^{\beta'}\xi_{\alpha'\mu\beta'\upsilon}-im_ep_-^{\alpha}S_-^{\beta}\xi_{\alpha\mu\beta\upsilon}\}$$

الآن بضرب المقدارين $L_{\mu\upsilon}^{\upsilon\bar{\upsilon}}$ ، $L_{\mu\upsilon}^{e^-e^+}$ نجد أن قيمة $\left|\overline{M}_1\right|^2$ تعطى بالصيغة الرباعية النهائية كما يلي:

$$\left|\overline{M}_1\right|^2=G_f^2\left(1-\eta_-\eta_+\right)$$
$$\times\{\left(C_V-\eta_+C_A\right)^2[\left(p_+k_-\right)\left(p_-k_+\right)-m_e{}^2\left(k_-S_+\right)\left(k_+S_-\right)-m_e\eta_+\left[\left(k_-p_+\right)\left(k_+S_-\right)-\left(k_-S_+\right)\left(k_+p_-\right)\right]]$$

$$+\left(C_V+\eta_+C_A\right)^2[\left(p_+k_+\right)\left(p_-k_-\right)-m_e{}^2\left(k_-S_-\right)\left(k_+S_+\right)-m_e\eta_+\left[\left(k_-p_-\right)\left(k_+S_+\right)-\left(k_-S_-\right)\left(k_+p_+\right)\right]]$$

$$+\left(C_V^2-C_A^2\right)\{\left(k_+k_-\right)\left[m_e{}^2-\left(S_+p_-\right)\left(p_+S_-\right)-\left(S_+S_-\right)\left(p_+p_-\right)\right]$$
$$-\left(p_+p_-\right)\left[\left(k_+S_-\right)\left(k_-S_+\right)+\left(k_+S_+\right)\left(k_-S_-\right)\right]-\left(S_+S_-\right)\left[\left(k_-p_+\right)\left(k_+p_-\right)+\left(k_+p_+\right)\left(k_-p_-\right)\right]$$
$$+\left(p_+S_-\right)\left[\left(k_-p_-\right)\left(k_+S_+\right)+\left(k_+p_-\right)\left(k_-S_+\right)\right]+\left(S_+p_-\right)\left[\left(k_-p_+\right)\left(k_+S_-\right)+\left(k_+p_+\right)\left(k_-S_-\right)\right]$$
$$-\left(p_+S_+\right)\left[\left(k_-p_-\right)\left(k_+S_-\right)+\left(k_+p_-\right)\left(k_-S_-\right)\right]$$
$$-m_e\eta_+\left[\left(k_-S_+\right)\left(k_+p_+\right)-\left(k_-p_+\right)\left(k_+S_+\right)+\left(k_-S_-\right)\left(k_+p_-\right)-\left(k_-p_-\right)\left(k_+S_-\right)\right]\}\}$$

وبنفس الطريقة نوجد $\left|\bar{M}_2\right|^2$:

$$M_2=\frac{G_f}{\sqrt{2}}\left|C_{2\upsilon}\right|\left(\bar{u}_\upsilon u_{\bar{\upsilon}}\right)\left(\bar{u}_{e^+}\frac{\hat{p}}{2m_e}u_{e^-}\right)$$

$$\left|\bar{M}_2\right|^2=\frac{G_f^{\;2}}{2}\left|C_{2\upsilon}\right|^2\left(\bar{u}_\upsilon u_{\bar{\upsilon}}\right)\left(\bar{u}_{\bar{\upsilon}}u_\upsilon\right)\left(\bar{u}_{e^+}\frac{\hat{p}}{2m_e}u_{e^-}\right)\left(\bar{u}_{e^-}\frac{\hat{p}}{2m_e}u_{e^+}\right)$$

$$=\frac{G_f^{\;2}}{2}C_{2\upsilon}^{\;2}Tr\left(\hat{\Lambda}_\upsilon\hat{\Lambda}_{\bar{\upsilon}}\right)Tr\left(\hat{\Lambda}_{e^+}\frac{\hat{p}}{2m_e}\hat{\Lambda}_{e^-}\frac{\hat{p}}{2m_e}\right)$$

$$=\frac{G_f^{\;2}C_{2\upsilon}^{\;2}}{8m_e}Tr\left(\hat{\Lambda}_\upsilon\hat{\Lambda}_{\bar{\upsilon}}\right)Tr\left(\hat{\Lambda}_{e^+}\hat{p}\hat{\Lambda}_{e^-}\hat{p}\right)$$

$$\left|\bar{M}_2\right|^2=\frac{G_f^{\;2}C_{2\upsilon}^{\;2}}{8m_e}\left(1+\eta_-\eta_+\right)\left(\hat{k}_-\hat{k}_+\right)\times$$

$$\left[\left(p_-\hat{k}\{_+\right)+\left(p_-\hat{k}_-\right)\right]\left\{\left[\left(p_+\hat{k}_+\right)+\left(p_+\hat{k}_-\right)\right]\left[1-\left(S_+S_-\right)\right]-\left(p_+S_-\right)\left[\left(S_+\hat{k}_+\right)+\left(S_+\hat{k}_-\right)\right]\right\}$$

$$+\left[\left(S_-\hat{k}_+\right)+\left(S_-\hat{k}_-\right)\right]\left\{\left[\left(S_+\hat{k}_+\right)+\left(S_+\hat{k}_-\right)\right]\left[-\left(p_+p_-\right)-m_e^{\;2}\right]+\left(S_+p_-\right)\left[\left(p_+\hat{k}_+\right)+\left(p_+\hat{k}_-\right)\right]\right\}$$

$$-2E_\upsilon^{\;2}\left\{m_e^{\;2}\left[1-\left(S_+S_-\right)\right]+\left(p_+p_-\right)\left[1+\left(S_+S_-\right)\right]+\left(p_+S_+\right)\left(p_-S_-\right)-\left(p_+S_-\right)\left(S_+p_-\right)\right\}$$

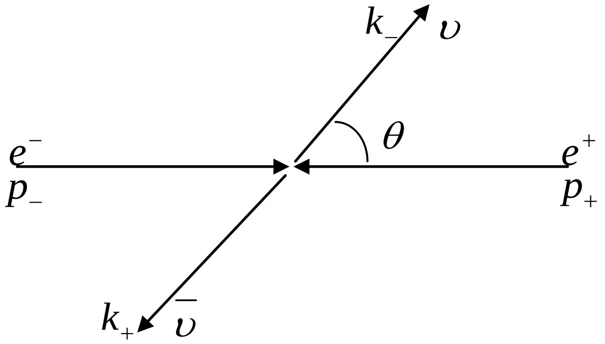
نعود لكتابة العنصر المصفوفي الكلي : $\left|\bar{M}\right|^2=\left|\bar{M}_1\right|^2+\left|\bar{M}_2\right|^2$

بعد أن حصلنا على العنصر المصفوفي للتفاعل المدروس نختار جملة مركز الكتل لحساب المقطع العرضي لهذا التفاعل . من أجل ذلك نعرف المقادير الآتية :

$\vec{k}_o=\frac{\vec{k}}{\left|\vec{k}\right|}$ شعاع الواحدة على اتجاه اندفاع النيوترينو (أو النيوترنيو المضاد).

$\vec{p}_o=\frac{\vec{p}}{\left|\vec{p}\right|}$ شعاع الواحدة على اتجاه اندفاع الإلكترون (أو البوزيترون).

$\vec{p}_o\vec{k}_o=p_ok_o\cos\theta$ حيث أن θ زاوية التشتت (أو التبعثر).



نفرض كذلك أن :

$$\vec{k}_- = -\vec{k}_+ = \vec{k}\ ;\ \left|\vec{k}_-\right| = \left|\vec{k}_+\right| = \left|\vec{k}\right| = E_\upsilon = k\ ;\ k_- = k_-\left(E_\upsilon, \vec{k}\right)\ ;\ k_+ = k_+\left(E_\upsilon, -\vec{k}\right)$$

$$\vec{p}_- = -\vec{p}_+ = \vec{p}\ ;\ \left|\vec{p}_-\right| = \left|\vec{p}_+\right| = \left|\vec{p}\right| = p\ ;\ p_- = p_-\left(E_\upsilon, \vec{p}\right)\ ;\ p_+ = p_+\left(E_\upsilon, -\vec{p}\right)$$

كما نعتبر أن $E_\upsilon = E_e$ و نرمز لكل منهما بالرمز E ومنه نجد:

$$q^2 = s = \left(p_- + p_+\right)^2 = \left(k_- + k_+\right)^2 = \left(E_e + E_e\right)^2 - \left(\vec{p}_- + \vec{p}_+\right)^2 = 4{E_e}^2 = 4E^2$$

نقوم الآن بحساب المقطع العرضي للتفاعل $e^+e^- \to \upsilon\bar{\upsilon}$ في الحالة $\vec{S}_\pm \,//\, \vec{P}_\pm$:

أي الحالة التي يكون فيها سبين الإلكترون (أو البوزيترون) يوازي اندفاع الإلكترون $\vec{S}_\pm \,//\, \vec{P}_\pm$.

و في هذه الحالة يكون $\vec{S}_\pm = s_\pm \vec{P}_{o,\pm}$

حيث: $s_\pm = \pm 1$ يعبر عن لولبية الإلكترون و البوزيترون .

نقوم باستخدام العبارة العامة للمقطع العرضي التفاضلي:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega_\upsilon}\right)_{CMS} = \frac{1}{64\pi^2 s}\frac{k}{p}\left|M\right|^2 ; \sqrt{s} = 2E$$

وبإجراء الحسابات اللازمة للحصول على الشكل النهائي للعنصر المصفوفي النووي $\left|M\right|^2$ وتعويضه في العبارة العامة للمقطع العرضي مفترضين أن $m_e \rangle\rangle m_\upsilon$ نجد أن المقطع العرضي التفاضلي للتفاعل المدروس يأخذ الشكل العام التالي:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_\upsilon}\left(s_-, s_+, \eta_-, \eta_+\right) = \frac{G_f E^2}{64\pi^2}\{\frac{\left(1-\eta_-\eta_+\right)}{4}[\left(1-s_-s_+\right)\left(1-\eta_-s_-\right)\left(C_V - \eta_- C_A\right)^2$$

$$+\left(1-\eta_-s_+\right)\left(1-\eta_-s_+\right)\left(C_V + \eta_- C_A\right)^2 + \frac{2}{\omega^2}\left({C_V}^2 - {C_A}^2\right)]*\left(1+\eta_-s_-\cos\theta\right)\left(1-\eta_-s_+\cos\theta\right)$$

$$+\frac{\left(1-\eta_-\eta_+\right)}{2}\frac{{f_{2\upsilon}}^2 + {g_{2\upsilon}}^2}{{\rho_e}^2}[\left(1+s_-s_+\right)\cos\theta^2 + \left(1-s_-s_+\right)\omega\sin\theta^2]\} \quad ; \quad \omega = E/m_e$$

بمكاملة العلاقة السابقة بالنسبة للزاوية المجسمة $d\Omega_\upsilon$ بعد تعويض قيمة المقادير التالية:

$$\left(C_V - \eta_- C_A\right)^2, \left(C_V - \eta_- C_A\right)^2, \left|C_V\right|^2 - \left|C_A\right|^2$$

نحصل من أجل الزوج النيوترينوي $\left(\upsilon_L, \overline{\upsilon_R}\right)$ على المقطع العرضي الذي نكتبه بالشكل التالي :

$$\sigma_{total} = \frac{1-\eta_-\eta_+}{2}\sigma_+ + \frac{1+\eta_-\eta_+}{2}\sigma_-$$

حيث:

$$\sigma_+ = \frac{{G_f}^2 E^2}{16\pi}\{\left(1 - \frac{s_-s_+}{2}\right)\{\frac{2}{{a_0}^2 + {b_0}^2}[\left(1-s_-\right)\left(1-s_+\right)\left(g_{Ve} + g_{Ae}\right)^2 + \left(1+s_-\right)\left(1-s_+\right)\left(g_{Ve} - g_{Ae}\right)^2$$

$$+\frac{2}{\omega^2}\left(g_{Ve}^2 - g_{Ae}^2\right) + a_0\left(\frac{f_{1\upsilon} + g_{1\upsilon}}{\rho_e}\right)\left(\left(1-s_-\right)\left(1+s_+\right)\left(g_{Ve} + g_{Ae}\right) + \left(1+s_-\right)\left(1-s_+\right)\left(g_{Ve} - g_{Ae}\right) + \frac{2}{\omega^2}\right)$$

$$+\left(1-s_-s_+ +\frac{1}{\omega^2}\right)\left(\frac{f_{1\upsilon}+g_{1\upsilon}}{\rho_e}\right)^2\}+g_{e\upsilon}\left(2\left(1+s_-s_+\right)-h\left(E^2,m_e^2\right)\right)[\frac{4a_0}{a_0^2+b_0^2}((1+s_-)(1-s_+)(g_{Ve}-g_{Ae})$$

$$+\frac{1}{\omega^2}(g_{Ve}+g_{Ae}))+2\left(\frac{f_{1\upsilon}+g_{1\upsilon}}{\rho_e}\right)\left((1+s_-)(1-s_+)+\frac{1}{\omega^2}\right)]+8g_{e\mu}^2(1+s_-)(1-s_+)\left[(1+s_-s_+)-h\left(E^2,m_e^2\right)\right]\}$$

مفترضين أن:

$$h\left(E^2,m_e^2\right)=\frac{4E^2}{m_e^2}(1-s_-s_+)(1-s_-)\ ;\ a_0=1-\frac{4E^2}{m_{z0}^2},b_0=\frac{E}{m_{z0}}$$

$$\sigma_-=\frac{G_f{}^2E^2}{48\pi}\left(\frac{f_{2\upsilon}^2+g_{2\upsilon}^2}{\rho_e^2}\right)\left[(1+s_-s_+)+2(1-s_-s_+)\omega^2\right]$$

ولسهولة الحساب نعتبر أن $\frac{s}{m_w^2}\langle\langle 1$: $\frac{s}{m_z^2}\langle\langle 1$, ، وبالتالي نستطيع كتابة:

$$\sigma_+=\sigma^{sta}+\sigma^{em}+\sigma^{in}$$

فنجد أن :

$$\sigma^{sta}=\frac{G_f{}^2E^2}{8\pi}\left(1-\frac{s_-s_+}{3}\right)\left[(1-s_-)(1+s_+)(g_{Ve}+g_{Ae})^2+(1+s_-)(1-s_+)(g_{Ve}-g_{Ae})^2+\frac{2}{\omega^2}\left(g_{Ve}^2-g_{Ae}^2\right)\right]$$

$$\sigma^{em}=\frac{G_f{}^2E^2}{16\pi}\left(1-\frac{s_-s_+}{3}\right)\left[\left(1-s_-s_+ +\frac{1}{\omega^2}\right)\frac{(f_{1\upsilon}+g_{1\upsilon})^2}{\rho_e^2}\right]$$

$$\sigma^{in}=\frac{G_f{}^2E^2}{8\pi}\left(1-\frac{s_-s_+}{3}\right)\left[(1-s_-)(1+s_+)(g_{Ve}+g_{Ae})+(1+s_-)(1-s_+)(g_{Ve}-g_{Ae})+\frac{2g_{\upsilon e}}{\omega^2}\right]+$$

$$+\frac{2g_{\mu e}}{\omega^2}(1+s_-s_+)\left[2\left((g_{Ve}+g_{Ae})\right)+\frac{f_{1\upsilon}+g_{1\upsilon}}{\rho_e}\right]$$

حيث أنّ : $\rho_e=\frac{G_f s}{4\pi\sqrt{2a}}$. $g_{e\mu}=1$ من أجل الزوج النيوترينوي $\left(\upsilon_e,\overline{\upsilon_e}\right)$ ،وكذلك $g_{e\mu}=0$ من أجل الزوج النيوترينوي $\left(\upsilon_\mu,\overline{\upsilon_\mu}\right)$.

لنأخذ مطال تشكل الزوج النيوتريوي من خلال مساهمة التيار المحايد والتيار المشحون، ومن ثم نحسب المقطع العرضي للتفاعل مضروبا بسرعة الالكترون او البوزيترون ونكتبه بالصيغة الرباعية حسب فنجد :[1]

$$\sigma V=\frac{G_F^2}{12\pi}\frac{1}{E_+E_-}\left\{(g_{Ve}^2+g_{Ae}^2)[m_e^4+3m_e^2(pp')+2(pp')^2]+3(g_{Ve}^2-g_{Ae}^2)[m_e^4+m_e^2(pp')]\right\}$$

باستكمال الحسابات في جملة مركز الكتل Center Mass System (CMS) تصبح العبارة السابقة بالشكل التالي:

$$\sigma V = \frac{G_F^2}{6\pi} m_e^2 [(g_{Ve}^2 + g_{Ae}^2)(\frac{4E^2}{m_e^2} - 1) + 3(g_{Ve}^2 - g_{Ae}^2)][1 - \frac{m_e^2}{4E^2}]$$

هذا بالنسبة للزوج النيوترينوي $(\upsilon_e \bar{\upsilon}_e)$ ، أما بالنسبة للزوجين $(\upsilon_\tau \bar{\upsilon}_\tau), (\upsilon_\mu \bar{\upsilon}_\mu)$ فتأخذ العبارة الشكل التالي:

$$\sigma V = \frac{G_F^2 m_e^2}{6\pi} [(3g_{Ve}^2 - 2g_{Ve}^2 + 1 + 3g_{Ae}^2)(\frac{4E^2}{m_e^2} - 1) + 3g_{Ve}^2 - 2g_{Ve} + 1 - 3g_{Ae}^2][1 - \frac{m_e^2}{4E^2}]$$

نفرض أن $\sin\theta^2 w \cong 0.25$ فنجد:

$$\sigma \frac{V}{C} \approx 1.9 \times 10^{-45} \left(\frac{4E^2}{m_e^2 C^4} - 0.55 \right)$$

حيث تقدر σ بـ cm^2.

نشير هنا إلى أن الطاقة الكلية المفقودة Q_{pair} في السنتيمتر المكعب خلال ثانية واحدة من جرّاء تشكل الزوج النيوترينوي $(\upsilon\bar{\upsilon})$ لا تتعلق فقط بـ σV بل بكثافة e^+ , e^- وفق العلاقة التالية[1،3]:

$$Q_{pairs} \approx n_+ n_- (\sigma V)(E_+ + E_-) \approx 10^{15} erg / (cm^3 C)$$

حيث تعطى كثافة الالكترونات او البوزوترونات بعلاقة تقريبية كما يلي:

$$n_+ \approx n_- \approx 15 T^3 \ cm^{-3}$$

لتسهيل الدراسة نعتبر الالكترونات والبوزيترونات مستقطبة طوليا، لذلك نكتب التفاعل المدروس $e^+ e^- \to \upsilon_i \bar{\upsilon}_i$ بالشكل التالي:

$$e^+(P^+) + e^-(P_-) \to \upsilon(k_-, \eta_-) + \bar{\upsilon}(k_+, \eta_+) \qquad (1)$$

نعيد كتابة المطال الكلي للتفاعل السابق بحيث تساهم فيه جنبا إلى جنب التأثيرات الضعيفة والتأثيرات الكهرومغناطيسية فنجد:

$$M_{total} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} [\bar{u}_\upsilon \gamma_\alpha u_{\bar{\upsilon}}][\bar{u}_{e^+} \gamma^\alpha (D_V + D_A \gamma_5) u_{e^-}] -$$
$$- \frac{G_F}{\sqrt{2}} [\bar{u}_\upsilon ((f_\upsilon(q^2) + i\ \xi_- g_\upsilon(q^2)) / C_\alpha) u_\upsilon][\bar{u}_{e^+} (P / 2m_e) u_{e^-}] \qquad (2)$$

حيث: D_A , D_V بارامترات التفاعل الكهر ضعيف electroweak interaction وتساوي:

$$D_V = (1 - \xi_-)(g_{Ve} - 1) + (f_{m\upsilon}(q^2) + \xi_- f_b) / C_\alpha ,$$
$$D_A = (1 - \xi_-)(g_{Ae} - 1) \ , \quad P = \gamma_\mu (k_-^\mu + k_+^\mu),$$
$$C_\alpha = G_F S / 4\pi\sqrt{2}\alpha \ , \ f_{m\upsilon}(q^2) = f_a(q^2) + \frac{m_\upsilon}{m_e} f_\upsilon(q^2) ,$$

q : يدعى بالاندفاع المنقول و α : ثابت البنية الناعمة و $\langle r^2 \rangle = a^2 + b^2 \cong 10^{-32}\ cm^2$ حيث $\langle r^2 \rangle$ هو متوسط مربع نصف القطر الشحنة Mean-square charge radius .

نعلم أن النيوترينو محايد كهربائيا ولا يتفاعل مع الفوتون إلا من خلال ما يسمى بالعروة في مخططات فينمان ومن هنا تظهر الخصائص الكهرومغناطيسية له [8,9] وحسب المعطيات الكونية [5,4] يملك النيوترينو شحنة صغيرة جدا ولذلك أدخلنا الوسطاء المتعلقة بذلك في مطال التفاعل.

نختار جملة مركز الكتل لمتابعة الحسابات مفترضين أن: $m_\upsilon \langle\langle m_e$ فنحصل على المقاطع العرضية التفاضلية التالية:

$$\frac{d\sigma_1}{d\Omega_{\upsilon +}} = \frac{G_F^2 E^2}{32\pi^2}[(D_V + D_A)^2((1+\cos\theta)/2)^2 + (D_V - D_A)^2((1-\cos\theta)/2)^2 + $$

$$+ (D_V^2 - D_A^2)/2\omega^2], \qquad (3)$$

$$\frac{d\sigma_2}{d\Omega_\upsilon} = \frac{G_F^2 E^2}{64\pi^2}\{[f_\upsilon^2(q^2) + g_\upsilon^2(q^2)]/C_\alpha^2\}(\cos^2\theta + \omega^2\sin^2\theta) \qquad (4)$$

$$E = \frac{E_+ + E_-}{2} = \frac{\sqrt{S}}{2} \qquad (5)$$

نشير إلى أن S تمثل الطاقة الكلية للإلكترون والبوزيترون كما توافق العلاقة (3) حالة تعاكس اللولبية للنيوترينو والنيوترينو المضاد $\eta_- = -\eta_+$ ، أما العلاقة (4) فتعكس حالة توافق اللولبية $\eta_- = \eta_+$.

نكامل العلاقتين (3) , (4) السابقتين بالنسبة للزاوية المجسمة $d\Omega_\upsilon$ فنحصل على المقاطع العرضية الكاملة مضروبة بسرعة الالكترونات و البوزيترونات بالشكل التالي:

$$\sigma_1 V\ (\upsilon_e \bar{\upsilon}_e) = \frac{G_F^2 m_e^2}{6\pi}\{(g_{Ve}{}^2 + g_{Ae}{}^2)[\frac{4E^2}{m_e^2} - 1] + 3(g_{Ve}{}^2 - g_{Ae}{}^2)[1 - \frac{m_e^2}{4E^2}] + $$

$$+[\frac{4E^2}{m_e^2} - 1][\frac{3m_e^2}{4E^2} + 1][f_a(q^2) + f_b(q^2)/C_\alpha] \times$$

$$\times[1 + g_{Ve} + ((f_a(q^2) + f_b(q^2))/4C_\alpha]\} \qquad (6)$$

$$\sigma_1 V\ (\upsilon_\mu \bar{\upsilon}_\mu) = \frac{G_F^2 m_e^2}{6\pi}\{(3g_{Ve}{}^2 - 2g_{Ve} + 3C_A'^2 + 1)[\frac{4E^2}{m_e^2} - 1] + $$

$$+(3C_V'^2 - 2C_V' - 3g_{Ae}{}^2 + 1)[1 - \frac{m_e^2}{4E^2}] + $$

$$+[\frac{4E^2}{m_e^2} - 1][\frac{3m_e^2}{4E^2} + 1][(f_a(q^2) + f_b(q^2))/C_\alpha] \times$$

$$\times[g_{Ve} + ((f_a(q^2) + f_b(q^2))/4C_\alpha]\} \qquad (7)$$

$$\sigma_2 V\ (\upsilon_e\bar{\upsilon}_e, \upsilon_\mu\bar{\upsilon}_\mu) = \frac{G_F^2 m_e^2}{48\pi}[f_a(q^2) + f_b(q^2)/C_\alpha][\frac{4E^2}{m_e^2} - 1][\frac{4E^2}{m_e^2} + 1] \qquad (8)$$

نعود الى علاقة الطاقة الكلية المفقودة Q_{pair}^{Total} ونكتبها كالتالي:

$$Q_{\upsilon\bar{\upsilon}}^{Total} = 2E\, n_+ n_- (\sigma^{Total} V) \qquad (9)$$

لمعرفة التأثيرات الكهرومغناطيسية في الانحراف عن النموذج المعياري (SM) من خلال التفاعل المدروس لابد من تعريف المقادير التالية:

$$Q^{SM} \equiv Q_{\upsilon\bar{\upsilon}} = 0 \; : f_{\upsilon}(q^2) = g_{\upsilon}(q^2) = 0$$

تعبر عن الطاقة المفقودة وفق النموذج المعياري.

فيكون الانحراف الكلي معرف بالعلاقة:

$$R_{\upsilon\bar{\upsilon}}^{total} = (Q_{\upsilon\bar{\upsilon}}^{Total} - Q^{SM})/Q^{SM}$$

باستخدام المعطيات العددية" الواردة في المرجعين [10, 8]":

$$E = 10m_e \; ; \quad a = b \cong 10^{-16}\ cm \quad ; \; f_{\upsilon}(q^2) = g_{\upsilon}(q^2) \cong 10^{-10}$$

أجريت الحسابات اللازمة في المجال الحراري (10^9-10^{11})K حول الانحراف الكلي والطاقة المفقودة وتم الحصول على النتائج التالية الواردة في الجداول 1 و 2 و 3 :

جدول (1): يمثل قيم الانحراف الكلي عن النموذج المعياري في المجال الحراري K(10^9-10^{11})

درجة الحرارة T (K)	الانحراف الكلي $R_{\upsilon\bar{\upsilon}}^{Total}$ %	
	$e^+e^- \to \upsilon_\mu\bar{\upsilon}_\mu$	$e^+e^- \to \upsilon_e\bar{\upsilon}_e$
10^9	1.2	7.7
10^{10}	1.3	13.0
10^{11}	1.5	18.5

جدول (2) : يمثل قيم الطاقة المفقودة من خلال الزوج النيوترينوي $\upsilon_e\bar{\upsilon}_e$ في المجال الحراري K (10^9-10^{11})

$T = 10^{11}K$	$T = 10^{10}K$	$T = 10^9 K$	الطاقة المفقودة $erg/(cm^3 \sec)$
$1.45.\times10^{34}$	4.41×10^{25}	7.42×10^{17}	$Q_{\upsilon\bar{\upsilon}}^{Total}$
1.9×10^{34}	3.9×10^{25}	6.9×10^{17}	Q^{SM}
18.5	13.0	7.7	$R_{\upsilon\bar{\upsilon}}^{Total}$ %

جدول (3): يمثل قيم الطاقة المفقودة من خلال الزوج النيوترينوي $\upsilon_\mu \overline{\upsilon}_\mu$ في المجال الحراري $K(10^{11}–10^9)$

الطاقة المفقودة $erg/(cm^3 \sec)$	$T = 10^9 K$	$T = 10^{10} K$	$T = 10^{11} K$
$Q_{\upsilon\overline{\upsilon}}^{Total}$	5.9×10^{17}	2.41×10^{25}	0.45×10^{34}
Q^{SM}	4.2×10^{17}	2.4×10^{25}	0.4×10^{34}
$R_{\upsilon\overline{\upsilon}}^{Total}$ %	1.2	1.3	1.5

المناقشة والاستنتاجات:

1− نلاحظ من الجدول الأول أن الانحراف عن النموذج المعياري يتزايد بارتفاع درجة الحرارة للوسط النجم وهذا التزايد يكون بأعداد صحيحة بالنسبة للزوج الالكتروني $\upsilon_e \overline{\upsilon}_e$ وبأعداد عشرية من أجل الزوج الميوني $\upsilon_\mu \overline{\upsilon}_\mu$ وهذا الانحراف لا يتجاوز عتبة 13% وهذا يتفق مع الأبحاث [13,11] ، وللتوضيح أكثر نرى أنه عند درجة الحرارة $10^9\ K$ يساوي الانحراف من أجل الزوج الالكتروني $\upsilon_e \overline{\upsilon}_e$ ستة أضعاف الانحراف من أجل الزوج الميوني $\upsilon_\mu \overline{\upsilon}_\mu$ ويستمر في التزايد حتى يصبح تقريبا ثلاثة عشر ضعفاً عند درجة الحرارة $10^{11}\ K$ وهذا يدل على أن معظم الطاقة المفقودة من النجم الحار يحملها الزوج الالكتروني $\upsilon_e \overline{\upsilon}_e$ الى الفضاء الخارجي كما يوضح الجدولان (2) ، (3) ، وهنا يجب النظر الى قيم الوسطاء الكهرومغناطيسية من خلال حدودها العليا لأن تناقص قيم هذه الوسطاء يجعل تأثيرها في مقطع التشتت يتناقص الى أن يتلاشى ويختفي كلياً.

2− عند درجة الحرارة $10^{11}\ K$ نجد ان الطاقة المفقودة بواسطة الزوج الالكتروني $\upsilon_e \overline{\upsilon}_e$ تعادل ثلاثة اضعاف الطاقة المفقودة بواسطة الزوج الميوني $\upsilon_\mu \overline{\upsilon}_\mu$ والانحراف في حده الأعلى من أجل الزوج الالكتروني.

3− هناك دور يلعبه التيار المشحون بالنسبة للزوج الالكتروني $\upsilon_e \overline{\upsilon}_e$ في عملية الانحراف عن النموذج المعياري أثناء ارتفاع درجة الحرارة وغياب هذا الدور عن التيار المحايد في الوقت ذاته بالنسبة للزوج الميوني $\upsilon_\mu \overline{\upsilon}_\mu$.

المراجع

المراجع العربية:

1- نزيه وجيه حيدر: *الطاقة المنبعثة من النجوم الحارة والانحراف عن النموذج المعياري من خلال التفاعل* $e^+e^- \to \upsilon\,\upsilon$ مجلة العلوم والتقانة، مجلد 4 (2) 2003م–حامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (السودان).

المراجع الأجنبية:

2- Bonesini, M., Guglielmi, A., *Hadroproduction experiments for precise neutrino beam calculations,* Phys. Rept. 433 (2006) 65-126.

3- Commins, E. D, Bucksbaum, P. H., -*Weak Interactions of Leptons and Quarks*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

4- Fukugita, M. and Suzuki, A., *Physics and Astrophysics of Neutrinos*, Springer-verlag, 1994

5- Fukugita, M., Yanagida, T *Physics of neutrinos and applications to astrophysics*, Springer, 2003.

6- Giunti, C., Kim, C. W. *Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics*, Oxford University Press, 2007.

7- Juraj Bracinik, *Electroweak physics at HERA(H1), AIP Conf. Proc*. 870 (2006) 275-278. , 9th Conference on the Intersections of Nuclear and Particle Physics (CIPANP) 2006, Rio Grande, Puerto Rico.

8- Mohapatra R.N.**,** and Pal, PB. *Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics*, World Scientific (1991) 300

9- Mohapatra, R. N. And Plash. B. P, *Light Pseudoscalar Particle and Stellar Energy Loss*, Phys. Rev. Lett. 48 1522-1525 (1982).

10- Mohapatra, R. N. And Plash. B. P, *Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics, World Scientific*, 1991; Light Pseudo scalar Particle and Stellar Energy Loss, Phys. Rev. Lett. 48 1522-1525 (1982).

11-Nazih Haider, Sid A. *Sfiat and Abdulghani Kerm. Neutrino Spectrum from the Pair-Annihilation Process in the Hot Stars and the Deviation from the Standard Model.* International Jornal of Pure and Applied Physics ISSN0973-1776 Volume 6, Number 1, (2010), pp.49-55.

12- NAZIH HAIDER. *The emission of Energy from hot stars and deviation from the standard model by studying the following interaction* $e^+e^- \to \upsilon\bar{\upsilon}$ .Sudan University of Science and Technology, Journal of Science & Technology, Khartoum , Sudan, 2003, Vol.4, No.2, p.94.

13- Vogel, P. and Engel, J., *Neutrino Electromagnetic Form Factors*, volume 39, number 11, 1 June (1989), p. 3378- 3384.

14- Erler, Jens, Langacker, Paul, *Electroweak model and constraints on new physics*, Phys. Lett. B592 (2004), arXiv:hep-ph/0407097