КАФЕДРА 40
ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Итоговый отчет
о педагогической практике

Аспирант (4 курс): Никулин В.В.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Рубин С.Г.

Педагогическая практика

- Преподавание годового (1 сем. бакалавриата + 1 сем. магистратуры) теоретического курса «Фундаментальные взаимодействия» на кафедре в течение 3 лет:
  - Доработка и чтение лекционного материала
  - Доработка задач для проведение семинарских занятий
- Проведение занятий по вводному курсу «Введение в специальность» для поступивших на кафедру внешних магистров (1 сем.).
- Соорганизация «Физического семинара по ФЭЧ» для 1 сем. магистратуры.
- Курирование студента магистратуры по научно-исследовательской работе.

Материалы лекций, прочитанных дистанционно

ПО КУРСУ «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ»

(ФРАГМЕНТ - ГЛАВА «ЭЛЕКТРОСЛАБОЕ СМЕШИВАНИЕ»)

Электрослабое смешивание

9 апреля 2022 г. 14:35

$$
\begin{array}{cccc}
\text{Лепт.} & \begin{bmatrix} \nu_e \\ e \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{bmatrix} \\
\text{Кварк} & \begin{bmatrix} u \\ d \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} s \\ c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} t \\ b \end{bmatrix} \\
 & \text{1 пок.} & \text{2 пок.} & \text{3 пок}
\end{array}
$$

Нужно для Э-М. Слабое вз.

$$\underline{U(1) \times SU(2)}$$

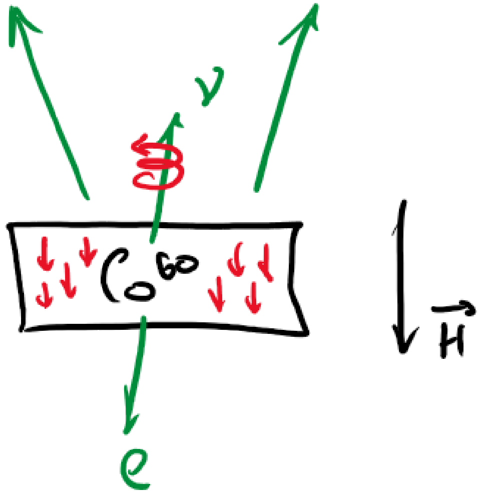
Сильн. вз.

$$U(1) \times SU(2) \times SU(3)$$

<u>Группа :</u> $U_Y(1) \times SU_L(2)$

Гиперзаряд. вз. Первичн. слаб. вз.

Опыт Ву:



Нарушение P-чётн.

$\Rightarrow$ Нейтрино – левые.

Лептоны:

$$L = \begin{bmatrix} \nu_e \\ e \end{bmatrix}_L \qquad \nu_e: T_3 = +\tfrac{1}{2}, \quad e: T_3 = -\tfrac{1}{2}$$

дублет (вектор во внутр. пр-ве — изотопич.)

$$L \to \underbrace{e^{iY\theta}}_{U_Y(1)} \underbrace{e^{i\frac{\hat{\sigma}_i}{2}\theta_i}}_{SU_L(2)} L$$

Гиперзаряд.

* Внутр. симм.

$$\nu_e, e = (\dots, \dots, \dots, \dots)$$

Спиноры Дирака

$SO(3,1)$

* Простр. симм.

синглет: ν_e^R, e^R

$$\nu_e^R \to e^{iY_\nu\theta}\, \nu_e^R$$

$$e^R \to e^{iY_e\theta}\, e$$

Гиперзаряды:

$$\left.\begin{aligned} Y &= -1 \\ Y_\nu &= 0 \\ Y_e &= -2 \end{aligned}\right\} \quad \underbrace{Q = \frac{Y}{2} + T_3}_{\text{Формула Гелл-Манна.}} \Rightarrow \begin{cases} Q_e = -1 \\ Q_\nu = 0 \end{cases}$$

Лагранжиан лептонов (1 пок.):

Можно выкинуть.

$$\mathcal{L} = i\bar{L}\gamma_\mu D^\mu L + i\bar{e}^R\gamma_\mu D^\mu e^R + i\bar{\nu}_e^R\gamma_\mu D^\mu \nu_e^R$$

$$\bar{L} = \begin{bmatrix} \bar{\nu}_e \\ \bar{e} \end{bmatrix}^+$$

$$D_\mu = \partial_\mu - \underbrace{i\frac{g'}{2}YB_\mu}_{U_Y(1)} - \underbrace{ig\frac{\hat{\sigma}_i}{2}W_\mu^i}_{SU_L(2)}$$

$$D_\mu = \partial_\mu - ig'Y_eB_\mu$$

$$D_\mu = \partial_\mu$$

g', g – константы связи

B_μ – гиперполе

W_μ^i – первичные слаб. поля

* Массовый член написать нельзя: $m(\bar{\Psi}_L\Psi_R + \bar{\Psi}_R\Psi_L)$

$$\bar{L}e$$

$$\underbrace{e^{-iY\theta} \quad e^{iY_e\theta}}$$

U(1) – неинвариант.

Взаимодействия:

(I) Левые:

$$i\bar{L}\gamma_\mu D^\mu L = i\begin{bmatrix}\bar{\nu}_e\\ \bar{e}\end{bmatrix}^T_L \not{\partial}\begin{bmatrix}\nu_e\\ e\end{bmatrix}_L +$$

$$+\begin{bmatrix}\bar{\nu}_e\\ \bar{e}\end{bmatrix}^T_L\gamma^\mu\left(\frac{g'}{2}\overset{\overset{-1}{\|}}{Y}\begin{bmatrix}1&0\\0&1\end{bmatrix}B_\mu+\frac{g}{2}\begin{bmatrix}1&0\\0&-1\end{bmatrix}W^3_\mu+\frac{g}{2}\begin{bmatrix}0&i\\-i&0\end{bmatrix}W^2_\mu+\frac{g}{2}\begin{bmatrix}0&1\\1&0\end{bmatrix}W^1_\mu\right)\begin{bmatrix}\nu_e\\ e\end{bmatrix}_L$$

$$=\dots+\begin{bmatrix}\bar{\nu}_e\\ \bar{e}\end{bmatrix}^T_L\gamma^\mu\left(\frac{1}{2}\begin{bmatrix}\underbrace{-g'B_\mu+gW^3_\mu}_{-\beta Z_\mu}&0\\0&-g'B_\mu-gW^3_\mu\end{bmatrix}+\frac{g}{2}\begin{bmatrix}0&W^1_\mu+iW^2_\mu\\W^1_\mu-iW^2_\mu&0\end{bmatrix}\right)\begin{bmatrix}\nu_e\\ e\end{bmatrix}_L \;(=)$$

$$\begin{bmatrix}W^3_\mu\\B_\mu\end{bmatrix}\to\begin{bmatrix}Z_\mu\\A_\mu\end{bmatrix}=\hat{O}\begin{bmatrix}W^3_\mu\\B_\mu\end{bmatrix}$$

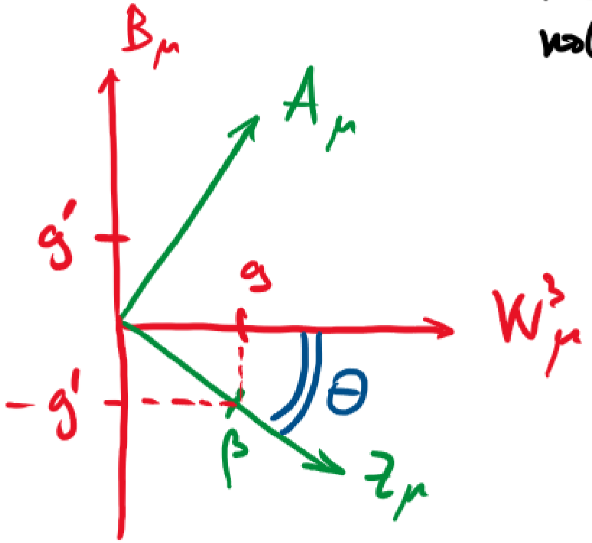
$$g'B_\mu+gW^3_\mu=$$
$$=g'(-\sin\theta\, Z_\mu+\cos\theta\, A_\mu)+$$
$$+g(\cos\theta\, Z_\mu+\sin\theta\, A_\mu)=$$

$$\begin{cases}W^-=W^1_\mu+iW^2_\mu\\W^+=W^1_\mu-iW^2_\mu\end{cases}$$

$$(\hat{O}^T\hat{O} = 1)$$

$$\hat{O} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Матрица поворота



$$\Rightarrow Z_\mu = \cos\theta\, W^3_\mu - \sin\theta\, B_\mu$$

$$Z_\mu = \frac{g}{\beta} W^3_\mu - \frac{g'}{\beta} B_\mu$$

$$= 2gg'/\sqrt{g'^2+g^2}\cdot A_\mu -$$

$$-2g'\sin\theta\, Z_\mu + \sqrt{g^2+g'^2}\, Z_\mu =$$

$$= \overset{\alpha}{2g\sin\theta}\, A_\mu -$$

$$-2g'\sin\theta\, Z_\mu +$$

$$+\sqrt{g'^2+g^2}\, Z_\mu$$

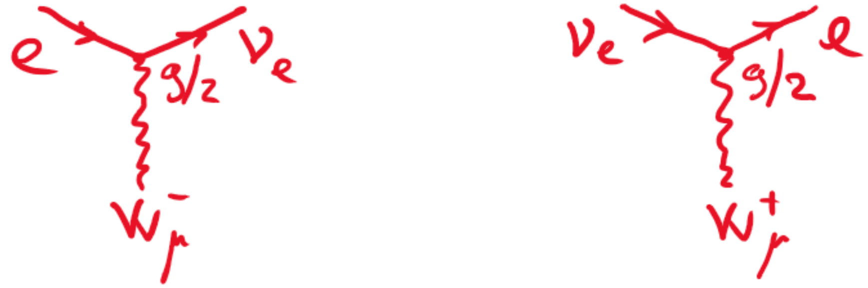
$$(W^-)^+ = W^+$$

$$\begin{bmatrix} W^3_\mu \\ B_\mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_W & \sin\theta_W \\ -\sin\theta_W & \cos\theta_W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_\mu \\ A_\mu \end{bmatrix}$$

$$= i \begin{bmatrix}\bar\nu_e\\ \bar e\end{bmatrix}_L^T \not\partial \begin{bmatrix}\nu_e\\ e\end{bmatrix}_L - \begin{bmatrix}\bar\nu_e\\ \bar e\end{bmatrix}_L^T \gamma^\mu \begin{bmatrix}\frac12\sqrt{g^2+g'^2}\,Z_\mu & 0\\ 0 & \left(\frac12\sqrt{g^2+g'^2}-g'\sin\theta\right)Z_\mu+\alpha A_\mu\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\nu_e\\ e\end{bmatrix}_L + \frac g2 \begin{bmatrix}\bar\nu_e\\ \bar e\end{bmatrix}\gamma^\mu\begin{bmatrix}0 & W^-_\mu\\ W^+_\mu & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\nu_e\\ e\end{bmatrix}_L =$$

$$= \bar e^L \not\partial e^L + \bar\nu_e^L \not\partial \nu^L - \frac12\sqrt{g^2+g'^2}\,\overbrace{(\bar\nu_e^L\gamma^\mu\nu_e^L)}^{NC} Z_\mu - (\dots)\overbrace{(\bar e^L\gamma^\mu e^L)}^{NC}Z_\mu - \alpha\overbrace{(\bar e^L\gamma^\mu e^L)}^{EC}A_\mu +$$

$$+ \frac g2 \overbrace{(\bar\nu_e^L\gamma^\mu e^L)}^{CC} W^-_\mu + \frac g2 \overbrace{(\bar e^L\gamma^\mu\nu_e^L)}^{CC}W^+_\mu$$



Ⅱ Правые:

$$i\bar{e}^R\gamma_\mu D^\mu e^R = i\bar{e}^R\not{\partial}e^R + \frac{g'}{2}\overset{=-2}{Y_e}(\bar{e}^R\gamma^\mu e^R)B_\mu =$$

$$= i\bar{e}^R\not{\partial}e^R - g'(\bar{e}^R\gamma^\mu e^R)(-\sin\theta\, Z_\mu + \cos\theta\, A_\mu) =$$

$$= i\bar{e}^R\not{\partial}e^R - \alpha\overbrace{(\bar{e}^R\gamma^\mu e^R)}^{EC}A_\mu + g'\sin\theta\overbrace{(\bar{e}^R\gamma^\mu e^R)}^{NC}Z_\mu$$

II Объединим:

$$\mathcal{L}_\psi = i\bar{e}\not\partial e + i\bar{\nu}_e^L\not\partial \nu_e^L + \alpha(\bar{e}\gamma_\mu e)A_\mu + g'\sin\theta\,(\bar{e}\gamma^\mu e)Z_\mu - \frac{1}{2}\sqrt{g'^2+g^2}\,(\bar{e}^L\gamma^\mu e^L)Z_\mu +$$

$$+ \frac{1}{2}\sqrt{g^2+g'^2}\,(\bar{\nu}_e^L\gamma^\mu\nu_e^L)Z_\mu + \frac{g}{2}(\bar{\nu}_e^L\gamma^\mu e^L)W_\mu^- + \frac{g}{2}(\bar{e}^L\gamma^\mu\nu_e^L)W_\mu^+$$

$$j_V^\mu = \bar{\Psi}\gamma^\mu\Psi \qquad (P:\ j_V^\mu \to -j_V^\mu)$$

$$j_{V-A}^\mu = \bar{\Psi}^L\gamma^\mu\Psi^L = \bar{\Psi}\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right)\gamma^\mu\left(\frac{1+\gamma_5}{2}\right)\Psi =$$

$$= \bar{\Psi}\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right)^2\Psi = \bar{\Psi}\gamma^\mu(1-\gamma_5)\Psi =$$

$$= \underbrace{\bar{\Psi}\gamma_\mu\Psi} - \underbrace{\bar{\Psi}\gamma^\mu\gamma^5\Psi}$$

Лагранжиан калибр. полей:

$$\mathcal{L}_G = -\frac{1}{4} B_{\mu\nu} B^{\mu\nu} - \frac{1}{4} W^i_{\mu\nu} W^{i\mu\nu} \;\; (=)$$

$$\begin{cases} B_{\mu\nu} = \partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu \\ W^i_{\mu\nu} = \partial_\mu W^i_\nu - \partial_\nu W^i_\mu + g\varepsilon^{ijk} W^j_\mu W^k_\nu \end{cases}$$

$$\downarrow \quad \begin{bmatrix} W^3 \\ B \end{bmatrix} = \hat{O} \begin{bmatrix} Z \\ A \end{bmatrix}, \quad \hat{O}^T \hat{O} = \hat{1}$$

* Если $E^i_{\mu\nu} = \partial_\mu E^i_\nu - \partial_\nu E^i_\mu$, то при преобр-и $E^i_\mu \to \tilde{E}^i_\mu = O^i_j E^j_\mu$ $(\hat{O}^T \hat{O} = \hat{1})$

$$\Longrightarrow E^i_{\mu\nu} \to \tilde{E}^i_{\mu\nu} = O^i_j \tilde{E}^j_{\mu\nu}$$

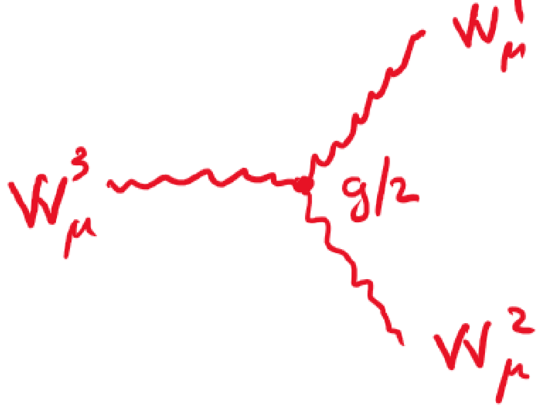
$$\Longrightarrow \mathcal{L} = -\frac{1}{4} E^i_{\mu\nu} E^{i\mu\nu} \longrightarrow -\frac{1}{4} \tilde{E}^i_{\mu\nu} \tilde{E}^{i\mu\nu}$$

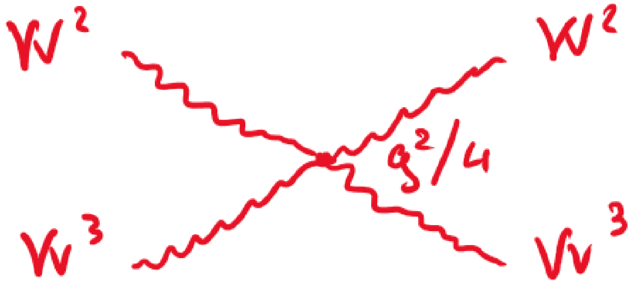
$$= -\underbrace{\frac{1}{4} A_{\mu\nu} A^{\mu\nu}}_{\gamma} - \underbrace{\frac{1}{4} Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu}}_{Z} - \underbrace{\frac{1}{2} W^+_{\mu\nu} W^{-\mu\nu}}_{W^\pm} +$$

$$\begin{cases} A_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu \\ Z_{\mu\nu} = \partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu \\ W^\pm_{\mu\nu} = \partial_\mu W^\pm_\nu - \partial_\nu W^\pm_\mu \end{cases}$$

$$+\frac{g}{2}\overset{123}{\varepsilon^{ijk}}\,\partial_\mu W_\nu^i W^{j\mu} W^{k\nu} \;+\; \frac{g^2}{4}\,\varepsilon^{\overbrace{ijk\;\varepsilon^{i}}^{1,2,3}lm}\, W_\mu^j W_\nu^k W^{l\mu} W^{m\nu}$$

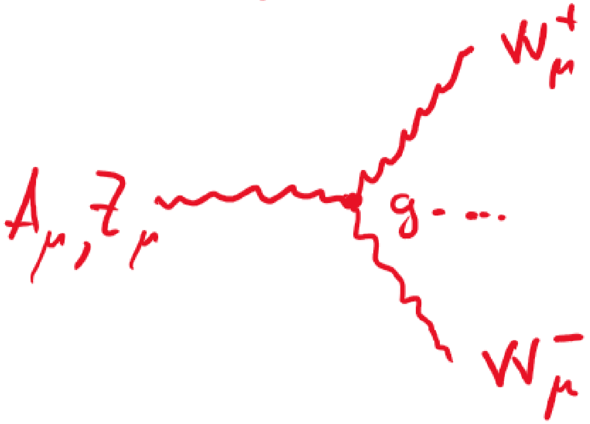
i	jk	lm
1	23	23
2	13	13
3	12	12

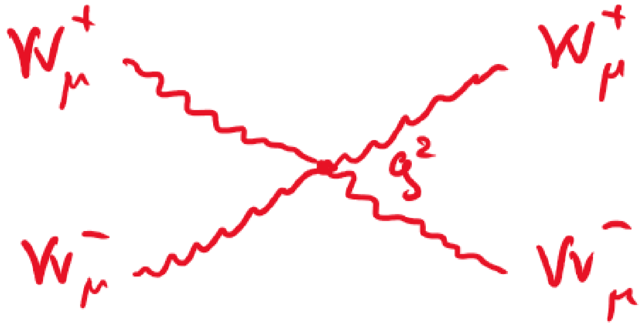


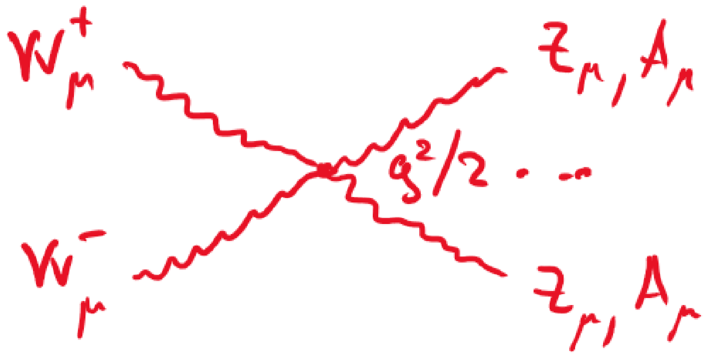


$\Downarrow \hat{O}$

$\Downarrow \hat{O}$







Спасибо за внимание!