Суперсимметричные модели с нарушенной лоренц-инвариантностью

Маракулин Артур Олегович

Научный руководитель - к. ф. - м. н. С. М. Сибиряков

Институт ядерных исследований РАН, 2017

Содержание доклада

Основные разделы доклада:

- Гравитация с лоренц-нарушением.
- Суперсимметрия и лоренц-нарушение.
- Скалярный и векторный супермультиплеты.
- Гравитационный супермультиплет и суперполевой формализм.
- Лоренц-нарушающая супергравитация.
- Феноменологические следствия.

Мотивация

Мотивация для лоренц-нарушения:

- Расширенные модели в теоретической физике
- Новые подходы к квантованию гравитации (Horava, 2009; Blas, Pujolas, Sibiryakov, 2010)
- Феноменология (Rubakov, 2006; Blas, Sibiryakov, 2011)

Гравитация с лоренц-нарушением

Действие для Эйнштейн-эфир гравитации (Jacobson, Mattingly, 2001)

$$S = S_{GR} + S_{æ},$$

Действие для эфира:

$$S_{æ} = -\frac{1}{2}\int d^4x\sqrt{-g}\{c_1\left(\nabla_n u_m\right)^2 + c_2\left(\nabla_m u_m\right)^2 + \\ + c_3\nabla_n u_m \nabla^m u^n - c_4 u^r u^s \nabla_r u_m \nabla_s u^m\}$$

Нормировка эфира:

$$u_m u^m = -1$$

Ограничения на параметры теории

PPN-параметры:

$$\alpha_1 = -8\frac{c_3^2 + c_1 c_4}{2c_1 - c_1^2 + c_3^2}$$

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_1}{2} - \frac{(c_1 + 2c_3 - c_4)(2c_1 + 3c_2 + c_3 + c_4)}{(c_1 + c_2 + c_3)(2 - c_1 - c_4)}$$

и ограничения на них:

$$|\alpha_1| \lesssim 10^{-4}$$

$$|\alpha_2| \lesssim 4 \times 10^{-7}$$

От гравитации к супергравитации

- Обычная гравитация совместима с лоренц-нарушением, теория содержит четыре свободных параметра
- Совместима ли с лоренц-нарушением супергравитация?
- Первый шаг: выяснить, совместима ли вообще суперсимметрия с лоренц-нарушением.

Суперсимметрия и лоренц-нарушение

$$(A, \Psi_\alpha)$$

Алгебра суперсимметрии, замыкающаяся on-shell

$$[\delta_\xi \delta_\eta] A = 2i \left(\eta \sigma_m \bar{\xi} - \xi \sigma_m \bar{\eta} \right) \partial_m A =>$$

$$\delta_\xi A = \xi \Psi$$

$$\delta_\xi \Psi_\alpha = 2i \left(\sigma_m \bar{\xi} \right)_\alpha \partial_m A + C_1 i u_m \xi_\alpha \partial_m \bar{A} + C_2 i u_m \left(\sigma_{mn} \xi \right)_\alpha \partial_n \bar{A}$$

Из инвариантности лагранжиана

$$\delta_\xi L = 0 => C_1 = C_2 = 0$$

Суперсимметрия и лоренц-нарушение

$$\left(A^i, \Psi^i_\alpha\right)$$

Алгебра суперсимметрии, замыкающаяся on-shell

$$[\delta_\xi \delta_\eta] A^i = 2i \left(\eta \sigma_m \bar{\xi} - \xi \sigma_m \bar{\eta}\right) \partial_m A^i =>$$

$$\delta_\xi A^i = \xi \Psi^i$$

$$\delta_\xi \Psi^i_\alpha = 2i \left(\sigma_m \bar{\xi}\right)_\alpha \partial_m A^i + C_1^{ij} i u_m \xi_\alpha \partial_m \bar{A}_j + C_2^{ij} i u_m \left(\sigma_{mn} \xi\right)_\alpha \partial_n \bar{A}_j$$

Из инвариантности лагранжиана

$$\delta_\xi L = 0 => C_2^{ij} = 0$$

Суперсимметрия и лоренц-нарушение

- Существуют нетривиальные лоренц-нарушающие модели для скалярного супермультиплета
- Не существует аналогичных нетривиальных теорий для векторного супермультиплета
- Суперполевой формализм (Bolokhov, Groot Nibbelink, Pospelov, 2005).
- Существуют ли нетривиальные теории для гравитационного супермультиплета?

Суперсимметричный эфир

Суперсимметричное обобщение эфира - киральное векторное суперполе (Pujolas, Sibiryakov, 2011):

$$U^m = u^m(x_L) + \sqrt{2}\theta\eta^m(x_L) + \theta^2 G^m(x_L)$$

Нормировка супер-эфира:

$$U_m U^m = -1$$

Действие для супер-эфира

$$S_{æ} = \int d^8 z f\left(U_m \bar{U}^m\right) + \int d^6 z \Lambda\left(U_m U^m + 1\right)$$

приводит к условиям на параметры теории:

$$c_2 + c_3 = 0,$$

$$c_4 = 0.$$

Действие неминимальной супергравитации:

$$S_{SG} = \frac{1}{\varkappa^2}\int d^8z \Bigg[\frac{1}{4}\Big((\partial_k H_m)^2 - (\Delta_k H_m)^2\Big) + \frac{n+1}{2n}(\partial_m H^m)^2 + \\ + \frac{n+1}{2}(\Delta_m H^m)^2 - i\frac{3n+1}{2n}\partial_m H^m\left(\Gamma - \bar{\Gamma}\right) + \\ + \frac{3n+1}{2}\Delta_m H^m\left(\Gamma + \bar{\Gamma}\right) + \frac{9n^2-1}{8n}(\Gamma^2 + \bar{\Gamma}^2) + \frac{(3n+1)^2}{4n}\Gamma\bar{\Gamma}\Bigg].$$

Суперкалибровочные преобразования:

$$\delta H_{\alpha\dot{\alpha}} = \bar{D}_{\dot{\alpha}} L_\alpha - D_\alpha \bar{L}_{\dot{\alpha}}$$

$$\delta\Gamma = -\frac{n+1}{4(3n+1)}\bar{D}^2 D^\alpha L_\alpha + \frac{1}{4}\bar{D}^{\dot{\alpha}} D^2 \bar{L}_{\dot{\alpha}}$$

Суперкалибровочные преобразования:

$$\delta V^a = w^b M_b{}^a$$

$$M_{ab} = \frac{1}{4}(\sigma_{ab})_\beta{}^\alpha D_\alpha \bar{D}^2 L^\beta + \frac{1}{4}(\bar{\sigma}_{ab})^{\dot{\alpha}}{}_{\dot{\beta}} \bar{D}^{\dot{\beta}} D^2 \bar{L}_{\dot{\alpha}}$$

Условие киральности:

$$\bar{D}_{\dot{\alpha}} V^c = -w^b \Phi_{\dot{\alpha}b}{}^c \ .$$

Связность:

$$\Phi_{\dot{\alpha}bc} = -\frac{1}{4}(\sigma_{bc})_\alpha{}^\beta \bar{D}^2 D^\alpha H_{\beta\dot{\alpha}} - (\bar{\sigma}_{bc})^{\dot{\beta}}{}_{\dot{\alpha}} \bar{D}_{\dot{\beta}} \Gamma$$

Лоренц-нарушающая супергравитация

Действие для лоренц-нарушающей супергравитации:

$$S_{æ} = \frac{C}{2\kappa^2}\int d^8 z\Big[V_a\bar{V}^a + iw^a w^b\partial_a H_b(\Gamma - \bar{\Gamma}) + w^a w^b \Delta_a H_b(\Gamma + \bar{\Gamma}) +$$
$$+ \frac{1}{4}(\Delta_k H_m \Delta^k H^m - \partial_k H_m \partial^k H^m - (\Delta_m H^m)^2 + (\partial_m H^m)^2) +$$
$$+ \frac{i}{4}\partial_m H^m(\Gamma - \bar{\Gamma}) + \frac{1}{4}\Delta_m H^m(\Gamma + \bar{\Gamma}) + \frac{3}{8}(\Gamma^2 + \bar{\Gamma}^2)\Big],$$

(Marakulin, Sibiryakov, 2016)

Лоренц-нарушающая супергравитация

Бозонная часть лагранжиана:

$$L = \frac{1}{2\varkappa^2}\left\{\frac{1}{4}h_{km}\Box h^{km} + \frac{1}{2}\partial^k h_{km}\partial_l h^{lm} - \frac{1}{2}\partial_k h^{km}\partial_m h + \frac{1}{4}\partial_m h \partial^m h\right.$$

$$- \partial_m \hat{v}^R_a \partial^m \hat{v}^{R,a} - \partial_m \hat{v}^I_a \partial^m \hat{v}^{I,a} + \sqrt{C}\,\hat{v}^{R,a} w^b \left(\partial_b \partial^k h_{ka} - \partial_a \partial^k h_{kb}\right)$$

$$- \frac{C}{4} w^a w^b \left(\partial_a h_{mn} - \partial_m h_{na}\right)\left(\partial_b h^{mn} - \partial^m h^n{}_b\right) - \frac{C}{2} w^a w^b \partial_a \hat{v}^{I,m} \partial_b \hat{v}^I_m$$

$$\left. + \frac{C}{2}(\partial_a \hat{v}^{I,a})^2 - C w^b w^c \epsilon_{bkam} \partial^k \hat{v}^{R,a} \partial_c \hat{v}^{I,m} + O(C^{3/2})\right\}.$$

Ограничения на параметры теории:

$$c_1 = C;\; c_2 = c_3 = c_4 = 0$$

Некоторые следствия теории

- Ограничение на параметры теории:

$$|C| \lesssim 10^{-7}$$

- Дисперсионные соотношения для векторных мод

$$E^2 = p^2$$

$$E^2 = (1 + C)\, p^2$$