

УДК 681.3.062

Горбар Е.В., д.ф.-м.н., с.н.с.

Аксіальний струм в моделі Намбу-Йона-Лазініо у зовнішньому магнітному полі

¹Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр.-т
Глушкова 4, e-mail: gorbar@bitp.kiev.ua

E.V. Gorbar, Dr. Sci.

Axial current in dense Nambu-Jona-Lasinio model in a magnetic field

¹Department of Physics, Taras Shevchenko National
Kyiv University, 03680, Kyiv, Glushkov av. 4,
e-mail: gorbar@bitp.kiev.ua

Досліджено аксіальний струм в нормальному стані релятивістської матерії в моделі Намбу-Йона-Лазініо у зовнішньому магнітному полі в першому порядку теорії збурень. Показано, що існує поправка пропорційна хімічному потенціалу до топологічного внеску у вільній теорії, яка обумовлена взаємодією.

Ключові слова: аксіальний струм, магнітне поле, модель Намбу-Йона-Лазініо

The properties of the normal ground state of relativistic matter in a magnetic field are examined within the framework of the Nambu-Jona-Lasinio model. The axial current in the normal state of this model is studied in the first order of perturbation theory in the four-fermion coupling constant and in the linear order in the magnetic field. Contrary to the conventional wisdom suggesting that the axial current should be exactly fixed by the chiral anomaly relation and is described by the topological contribution in the free theory, we found that there exists a correction to the topological contribution in the free theory. This correction is induced by the interaction and is proportional to chemical potential. This result agrees with the corresponding results obtained in the method which employs the Schwinger-Dyson equation for the fermion propagator in the dense Nambu-Jona-Lasinio model in the first order of perturbation theory in the coupling constant, where the interaction induced contribution to the axial current is associated with a relative shift in the longitudinal momenta in the dispersion relations of opposite chirality fermions.

Key Words: axial current, magnetic field, Nambu-Jona-Lasinio model

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Єжов С.М.

Нещодавно кіральну аномалію було використано і аргументовано [1], що недисипативний аксіальний струм в нормальному стані релятивістської матерії у зовнішньому магнітному полі в точності визначається струмом в теорії невзаємодіючих ферміонів. Однак кіральна аномалія містить дивергенцію аксіального і тому для того, щоб отримати з неї аксіальний струм необхідно так би мовити проінтегрувати кіральну аномалію. При цьому завжди залишається питання чи дорівнює константа інтегрування нулю чи ні.

В роботі [2] в моделі Намбу-Йона-Лазініо [3] вперше досліджувалось в методі рівнянь Швінгера-Дайсона для ферміонного пропагатора питання поправок до аксіального струму внаслідок ефектів взаємодії і було показано їх присутність. Однак модель Намбу-Йона-Лазініо є перенормованою, а кіральна аномалія має місце в калібрувальних теоріях, які є перенормованими теоріями. Тому дуже важливо розглянути питання поправок до аксіального

струму внаслідок ефектів взаємодії в теорії збурень в перенормованій теорії.

На жаль метод рівнянь Швінгера-Дайсона для ферміонного пропагатора, який був застосований в моделі Намбу-Йона-Лазініо [2] дуже непросто використати в калібрувальних теоріях і тому питання поправок до аксіального струму слід розглянути методом стандартної теорії збурень. Але спершу ми розглянемо поправку до аксіального струму в першому порядку теорії збурень в моделі Намбу-Йона-Лазініо і покажемо, що отриманий результат узгоджується з результатами роботи [2].

Лагранжіан моделі Намбу-Йона-Лазініо [3] має наступний вигляд

$$L = \bar{\psi}(iD_\nu + \mu\delta_{\nu 0})\gamma^\nu\psi + \frac{G_{int}}{2} [(\bar{\psi}\psi)^2 + (\bar{\psi}i\gamma^5\psi)^2], \quad (1)$$

де μ є хімічний потенціал. Коваріантна похідна містить вектор-потенціал, який описує в

калібровці Ландау постійне магнітне поле направлене по вісі z.

В роботі [1] було показано, що у вільній теорії в релятивістській ферміонній матерії існує наступний аксіальний струм

$$\langle j_5^3 \rangle_0 = -\frac{eB\mu}{2\pi^2}. \quad (2)$$

Цей внесок у нульовому порядку теорії збурень відомий як топологічний внесок.

Перша поправка до топологічного внеску (2) в моделі, що розглядається має наступний вигляд

$$\begin{aligned} \langle j_5^3 \rangle_1 = & \int \frac{d^4p}{i(2\pi)^4} \text{tr} [\gamma^3 \gamma^5 \bar{S}^{(1)}(p) \Sigma^{(0)} \bar{S}^{(0)}(p) \\ & + \gamma^3 \gamma^5 \bar{S}^{(0)}(p) \Sigma^{(0)} \bar{S}^{(1)}(p) \\ & + \gamma^3 \gamma^5 \bar{S}^{(0)}(p) \Sigma^{(1)} \bar{S}^{(0)}(p)], \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} \bar{S}^{(0)}(p) &= i \frac{(p_0 + \mu)\gamma^0 - \mathbf{p} \cdot \boldsymbol{\gamma}}{(p_0 + \mu)^2 - \mathbf{p}^2}, \\ \bar{S}^{(1)}(p) &= -eB \frac{(p_0 + \mu)\gamma^0 - p_3 \gamma^3}{[(p_0 + \mu)^2 - \mathbf{p}^2]^2} \gamma^1 \gamma^2, \end{aligned}$$

Список використаних джерел

1. Newman G.M. Response of strongly-interacting matter to magnetic field: some exact results / G.M. Newman and D. Son // *Physical Review D*. – 2006. – Vol.73. – P. 045006.
2. Gorbar E.V. Chiral asymmetry of the Fermi surface in dense relativistic matter in a magnetic field / E.V. Gorbar, V.A. Miransky, and I.A. Shovkovy// *Physical Review C*. – 2009. – Vol.80. – P. 032801(R).
3. Nambu Y. Dynamical model of elementary particles based on an analogy with the theory of superconductivity. I / Y. Nambu and G. Jona-Lasinio // *Physical Review*. – 1961. – Vol. 122. – P. 345-358.

$$\Sigma^{(0)} = G_{int} \int \frac{d^4k}{(2\pi)^4} \text{tr} [\bar{S}^{(0)}(k) - \gamma^5 \bar{S}^{(0)}(k) \gamma^5],$$

$$\Sigma^{(1)} = G_{int} \int \frac{d^4k}{(2\pi)^4} \text{tr} [\bar{S}^{(1)}(k) - \gamma^5 \bar{S}^{(1)}(k) \gamma^5].$$

Обчислюючи слід по матрицях Дірака в рівнянні (3) ми знаходимо, залишаючи лише найбільш розбіжний внесок, наступну першу пертурбативну поправку

$$\langle j_5^3 \rangle_1 = -\frac{G_{int} eB\mu\Lambda^2}{12\pi^2}, \quad (4)$$

де Λ – ультрафіолетовий параметр обрізання по імпульсам. Якщо розкласти вираз для аксіального струму в роботі [2], то для першої поправки до аксіального струму знайдемо значення $-aeB\mu g/\pi^2$, де a є чисельна константа порядку одиниці, яка визначається схемою регулязації.

Таким чином, отримана нами перша пертурбативна поправка (4) до топологічного внеску (3) відмінна від нуля і чудово узгоджується із поправкою знайденою в методі рівнянь Швінгера-Дайсона. Це означає, що метод теорії збурень для обчислення аксіального струму може бути застосовано у перенормованих калібрувальних теоріях.

References

1. NEWMAN, G.M. and SON, D. (2006) Response of strongly-interacting matter to magnetic field: some exact results *Physical Review D*. 73. p. 045006.
2. GORBAR, E.V., MIRANSKY, V.A., and SHOVKOVY, I.A. (2009) Chiral asymmetry of the Fermi surface in dense relativistic matter in a magnetic field *Physical Review C*. 80. p. 032801(R).
3. NAMBU, Y. and JONA-LASINIO, G. (1961) Dynamical model of elementary particles based on an analogy with the theory of superconductivity. I *Physical Review*. 122. p. 345-358.

Надійшла до редколегії 29.05.14