

# АНОМАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДУАЛЬНОСТЬ ГИДРОДИНАМИКИ и ГРАВИТАЦИИ

В.И. Захаров (ИТЭФ, ОИЯИ)

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН  
посвященная 300-летию Российской Академии Наук  
г. Дубна, ОИЯИ 1-5 апр. 2024г. +

2 апреля 2024 г.

# План доклада

Доклад основан на совместных работах  
с Г.Ю. Прохоровым и О.В. Теряевым

Буквально тема дуальности

"теории равновесия в неинерциальных системах" и  
"квантовой теории поля в фоновом (background)  
гравитационном поле"

не является широко известной. Поэтому

План: а) arXiv 1911.04545 Prokhorov et al.

б) Общее обсуждение подхода. Параллели с  
литературой

# Оператор плотности

В квантовой статистике матричные усредняются с помощью оператора плотности.  $\hat{\rho}$ ,

$$\hat{\rho} = \{1/Z\} \exp(-\hat{H}_{eff}/T)$$

where  $\hat{H}_{eff}$  построен на сохраняющихся операторах.

В Ландау & Лифшиц, это заряды  $\hat{Q}_i$ , угловой момент  $\hat{J}$

В частности, во вращающейся системе координат

$$\hat{H}_{eff} = \hat{H}_0 - \vec{\Omega} \cdot \hat{J}$$

, где  $\vec{\Omega}$  - угловая скорость ( $\mathbf{Q}_i = 0$ ).

# Переход к гидродинамике. Vecattini (2017)

В гидродинамике формально лоренц-инвариантный  $\hat{\rho}$

$$\hat{\rho} = \frac{1}{Z} \exp \left( - \int d\Sigma_\mu \hat{T}^{\mu\nu} \beta_\nu \right)$$

где  $\Sigma_\mu$  - 3d гиперповерхность ("объем"). Центральный пункт -завели 4-скорость среды (обычно это газ)  $u_\nu$ :

$$\beta_\nu = \frac{u_\nu}{T}$$

Можно переписать как  $\delta \hat{H}_{eff} = -\omega_\mu \hat{J}^\mu - a_\mu \hat{K}^\mu$

где  $\hat{J}^{\mu\nu} = u^\mu \hat{K}^\nu - u^\nu \hat{K}^\mu + \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} u_\rho \hat{J}_\sigma$

и  $\hat{J}^\mu, \hat{K}^\mu$  -операторы углового момента и буста, соотв.,

## To summarize

Равновесные свойства среды определяются оператором плотности, или эффективным термодинамическим взаимодействием:

$$\hat{H}_{\text{eff}} = -\vec{\Omega}\hat{J} - \vec{a}\hat{K}$$

где  $\hat{K}, \hat{J}, \vec{a}, \vec{\Omega}$  где  $\vec{\Omega}$  и  $\vec{a}$  угловая скорость и ускорение.

# Гравитационный, или геометрический подход

В теории поля, гравитационные взаимодействия определяются фундаментальным лагранжианом:

$$\delta L = -\frac{1}{2}\theta^{\alpha\beta} h_{\alpha\beta}$$

где  $\theta^{\alpha\beta}$  тензор энергии-импульса,  $h_{\alpha\beta}$  - гравитационные потенциалы, которые тоже включают угловую скорость и ускорение  $\vec{\Omega}_{grav}$ ,  $\vec{a}_{grav}$ .

# Duality

Далее, вычисляются матричные элементы внешних пробников,  $\langle \theta^{\alpha\beta} \rangle$ ,  $\langle J_5^\alpha \rangle$  в рамках обоих подходов, статистического и гравитационного. Результаты сравниваются при одних и тех же  $\mathbf{a}, \Omega$ . Однако, в рамках статистического подхода  $\vec{\mathbf{a}}, \vec{\Omega}$  имеют кинематическую природу, а в рамках - динамическую

Как следствие (обобщенного) принципа эквивалентности результаты для внешних пробников должны быть одинаковые

Более того, эффективное термодинамическое взаимодействие верно на больших расстояниях, а гравитационное - на малых (что проявляется в аномалиях)

Однопетлевая поправка к плотности энергии за счет безмассовых частиц спина  $1/2$  в статистическом подходе оказалась равной:

$$\rho_{s=1/2} = \frac{7\pi^2 T^4}{60} + \frac{a^2 T^2}{24} - \frac{17a^4}{960\pi^2}, \quad T > \frac{a}{2\pi}$$

Геометрически: однопетлевая поправка была вычислена "давно" (1994) на пространстве Риндлера с конической сингулярностью в Евклиде:

$$\rho_{s=1/2} = \frac{7\nu^4}{960\pi^2 r^4} + \frac{\nu^2}{96\pi^2 r^4} - \frac{17}{960\pi^2 r^4}$$

где  $r = 1/|a|$ ,  $\nu = 2\pi Tr$ .



# Дальнейшее развитие

Обобщения на случай массивных частиц, высших спинов нетривиальны. По всей видимости, работают.

Следующий принципиальный шаг:

Включение аксиальной аномалии- вызов теории  
(есть аномалии в статистическом подходе??)

Переходим к обсуждениям

# Законы сохранения

Что выделяет оба подхода и, по крайней мере в принципе, позволяет обсуждать дуальность - то что оба подхода построены на законах сохранения.

Однако, конструкции не тождественны:

В гравитации дипольный момент частицы со спином исключен CP-сохранением, на уровне амплитуды. В теории равновесия - оператор буста входит равноправно с оператором углового момента. CP нечетные эффекты уходят после усреднения по событиям. (Сравни с условиями Сахарова для наблюдения несохр барионного числа)

Предварительно: в теории равновесия могут оставаться неопределенными константы, которые равны нулю в гравитационном подходе

# Предел ньютоновской констант $G_N$ равной нулю

Равновесие в неинерциальной системе в статистическом подходе сформулировано без упоминания  $G_N$ , то есть допускает предел  $G_N = 0$ . При этом, однако, внешнее гравитационное поле должно оставаться неизменным в терминах геометрических величин (кривизны).

# Параллели с голографическим подходом к деСиттеру

Предельный случай  $G_N \rightarrow 0$  по массе черной дыры стремящейся к бесконечности сформулирован Виттеном  
Прблемы с CP нечетными членами см., например, в L. Susskind 2304.00589

“A Paradox and its Resolution Illustrate Principles of de Sitter Holography.”