

# ГРАНИЧНЫЕ ВОЛНЫ В КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЕ

*Байсеитов К.М.,\* Молдабеков Ж.А., Рамазанов Т.С.*

*КазНУ, Алматы, Казахстан*

*\*b.kasymkhan@gmail.com*

Кварк-глюонная плазма (КГП) считается состоянием материи в ранней Вселенной, в первые 10-5 с после Большого взрыва пока не наступает адронизация КГП. Этот факт побудил людей для теоретических работ по локальному скоплению взаимодействующих между собой кварков и глюонов в термальном и химическом равновесиях [1]. Первым значимым прорывом в экспериментальном исследовании стало детектирование кварк-глюонной плазмы в лабораторных условиях в ЦЕРНе в 2000 году [2, 3].

По причине подтверждения агрегатного состояния, вызывает интерес исследование коллективных эффектов в системе. С этой целью, диэлектрические функции ультрарелятивистской плазмы при столкновениях были проанализированы на основе интеграла столкновений Бхатнагара – Гросса – Крука (БГК) [4] для кинетического уравнения КГП [5, 6].

$$\epsilon_l(\omega, k) = 1 + \frac{m_D^2}{k^2} \left( 1 - \frac{\omega + i\nu}{2k} \ln \frac{\omega + i\nu + k}{\omega + i\nu - k} \right) \left( 1 - \frac{i\nu}{2k} \ln \frac{\omega + i\nu + k}{\omega + i\nu - k} \right)^{-1},$$

$$\epsilon_t(\omega, k) = 1 - \frac{m_D^2}{2\omega(\omega + i\nu)} \left\{ 1 + \left[ \frac{(\omega + i\nu)^2}{k^2} - 1 \right] \left( 1 - \frac{\omega + i\nu}{2k} \ln \frac{\omega + i\nu + k}{\omega + i\nu - k} \right) \right\}.$$

Большинство работ посвящено волнам, распространяющимся внутри вещества с бесконечными границами, и для их описания применялись различные модели [7, 8]. Однако, плазма неизбежно должна иметь границу, когда мы рассматриваем случай создания КГП в эксперименте столкновения тяжелых ионов. Следовательно, когда есть граница области плазмы, должны быть и граничные волны. Эти волны на границе влияют на транспортные свойства среды, следовательно и на кварки, движущиеся близко к поверхности среды. С этой целью в настоящей работе представлены результаты для поверхностных волн [9].

$$\sqrt{\frac{k_z^2}{\omega^2} - 1} + \frac{2\omega}{\pi} \int_0^\infty \frac{dk_x}{k^2} \left( \frac{k_z^2}{\omega^2 \epsilon_l} - \frac{k_x^2}{k^2 - \omega^2 \epsilon_{tr}} \right) = 0.$$

Результаты получены численно в длинноволновом пределе. Во-первых, столкновения приводят к меньшим значениям частоты поверхностных волн и их более сильному затуханию. Во-вторых, результаты показывают, что неидеальность приводит к появлению новой ветви поверхностных волн по сравнению с бесстолкновительным случаем.

- 
1. Satz H. // *Statistical Mechanics of Quarks and Hadrons: Proceedings of an International Symposium Held at the University of Bielefeld, F.R.G., 1980.*
  2. Heinz U., Jacob M. *Evidence for a New State of Matter: An Assessment of the Results from the CERN Lead Beam Programme, 2000*
  3. Glanz J. *Particle Physicists Getting Closer to the Bang That Started It All* // *The New York Times, 2000.*
  4. Bhatnagar P.L., Gross E.P., Krook M. *A model for collision processes in gases. I. Small amplitude processes in charged and neutral one-component systems* // *Phys. Rev.* 94, 511, 1954.
  5. Chakraborty P., Golam Mustafa M., Ray R., Thoma M.H. *Wakes in a collisional quark-gluon plasma* // *J. Phys. G* 34, 2141, 2007.
  6. Carrington M.E., Fugleberg T., Pickering D., Thoma M.H. *Dielectric functions and dispersion relations of ultrarelativistic plasmas with collisions* // *Can. J. Phys.* 82, 671, 2004.
  7. Bing-Feng Jiang, Jia-Rong Li, *The dielectric function of the viscous quark-gluon plasma* // *Nucl. Phys. A* 847, 268, 2010.
  8. Bing-Feng Jiang, Jia-Rong Li, *The wake potential in the viscous quark-gluon plasma* // *Nucl. Phys. A* 856, 121, 2011.
  9. Baiseitov K., Moldabekov Zh.A., Blaschke D., Djienbekov N., Ramazanov T.S. *Surface waves in collisional quark-gluon plasma* // *Phys. of part. and nucl. letters*, 17, 6, 2020.