

ҚР БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
ӘЛ-ФАРАБИ АТ.ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ФИЗИКА  
ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ  
АШЫҚ ТҮРДЕГІ ҰЛТТЫҚ НАНОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ  
ЗЕРТХАНА

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RK  
AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY  
SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL  
AND THEORETICAL PHYSICS  
NATIONAL NANOTECHNOLOGY OPEN LABORATORY

«ФИЗИКАНЫҢ ЗАМАНАУИ ЖЕТІСТІКТЕРІ ЖӘНЕ  
ІРГЕЛІ ФИЗИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ» атты  
9-ші Халықаралық ғылыми конференцияның  
ТЕЗИСТЕР ЖИНАҒЫ  
*12-14 қазан, 2016, Алматы, Қазақстан*

СБОРНИК ТЕЗИСОВ  
9-ой Международной научной конференции  
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ФИЗИКИ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»  
*12-14 октября, 2016, Алматы, Казахстан*

BOOK OF ABSTRACTS  
of the 9<sup>th</sup> International Scientific Conference  
«MODERN ACHIEVEMENTS OF PHYSICS AND  
FUNDAMENTAL PHYSICAL EDUCATION»  
*October, 12-14, 2016, Kazakhstan, Almaty*

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2016

## РАЗБРОС ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

Ю.В. Архипов<sup>1</sup>, А. Аскарулы<sup>1</sup>, А.Б. Ашикбаева<sup>1</sup>, И.М. Ткаченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Алматы-Казахстан

<sup>2</sup>Валенсийский политехнический университет, Испания

Одним из наиболее перспективных направлений в энергетике является получение энергии с использованием реакции управляемого термоядерного синтеза (УТС), основанной на слиянии легких ядер с последующим выделением огромного количества энергии. Один из типов реактора УТС – реактор инерционного удержания, в котором термоядерная плазма создается при сжатии таблетки из твердого термоядерного топлива при помощи пучков лазерного излучения или ускоренных потоков тяжелых ионов. Основным преимуществом такого подхода является возможность более сильного нагрева плазмы [1]. При этом движущаяся в среде быстрая частица теряет энергию, испытывая множество отдельных столкновений. Этот дискретный процесс подвержен статистическим флуктуациям. В результате одинаковые частицы, имевшие одну и ту же начальную скорость, не будут обладать в точности одинаковой энергией после прохождения в однородной среде слоя толщиной  $dx$ . Величина потерь энергии  $dE$  имеет флуктуации. Такое явление называется страгглингом и рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$\Omega_0^2 = \frac{2z_1^2 e^2 \hbar}{\pi \nu_p^2} \int_0^\infty \frac{dk^{kv_p}}{k} \int_0^\infty d\omega \omega^2 (2N(\omega) + 1) \text{Im} \left( -\frac{1}{\varepsilon(k, \omega)} \right). \quad (1)$$

Здесь  $N(\omega) = \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}} - 1}$  - функция Ферми-Дирака, где  $Z_p e$  и  $\nu$  - заряд и скорость налетающей частицы, под  $\nu_F$  подразумевается скорость Ферми.

Настоящая работа посвящена исследованию флуктуации энергии в неидеальной двухкомпонентной плазме на основе метода моментов [3], который не требует наличия малых параметров системы и применим для любых потенциалов межчастичных взаимодействий.

Суть метода моментов состоит в том, что, функция линейного отклика системы, например, обратная диэлектрическая функция  $-\frac{1}{\omega} \text{Im} \frac{1}{\varepsilon(\omega, \vec{k})}$ , может быть восстановлена по первым сходящимся степенным моментам ее мнимой части, причем эти моменты являются коэффициентами асимптотического разложения функции отклика на высоких частотах. Важно, что прямое вычисление степенных моментов осуществляется независимо, на основе теории линейного отклика, и они выражаются через статические структурные характеристики системы.

Запишем формулу Неванлинны, определяющую диэлектрические свойства среды, в виде

$$\frac{1}{\varepsilon(k, \omega)} = 1 + \frac{\omega_p^2(z + Q(k, \omega))}{z(z^2 - \omega_2^2(k)) + Q(z^2 + \omega_1^2(k))}, \quad (2)$$

здесь  $\omega_1^2 = C_2(k)/C_0(k)$ ,  $\omega_2^2 = C_4(k)/C_2(k)$ ,  $Q(k, \omega) = \frac{A\sqrt{\omega_p^5 \omega(1+i)}}{\omega_2^2(k) - \omega_1^2(k)}$  – функция класса Неван-

линны,  $\lim_{z \rightarrow \infty} (Q(k, z)/z) = 0$ ,  $\text{Im } z > 0$ ,  $A = \frac{\sqrt{2}}{3^{5/4}} r_s^{3/4}$ .

Параметры  $C_v(k)$  определены как степенные частотные моменты четной функции потерь:

$$C_v(k) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^{v-1} \text{Im} \varepsilon^{-1}(k, \omega) d\omega. \quad (3)$$

Вычисление моментов позволяет записать выражения для них в виде:

$$\begin{aligned} C_0(k) &= 1 - \varepsilon^{-1}(k, 0), \\ C_2 &= \omega_p^2, \\ C_4(k) &= \omega_p^4 (1 + K(k) + U(k) + H). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь

$$K(k) = \frac{\langle v_e \rangle^2 k^2}{\omega_p^2} + \left( \frac{\hbar}{2m} \right)^2 \frac{k^2}{\omega_p^2}, \quad (5)$$

$$H = \frac{1}{6\pi^2 Z \sqrt{n_e n_i}} \int_0^{\infty} q^2 S_{ei}(q) dq, \quad (6)$$

$$U(k) = \left( 1 / 2\pi^2 n \right) \int_0^{\infty} p^2 [S(p) - 1] f(p, k) dp, \quad (7)$$

а  $\langle v_e \rangle^2$  – квадрат средней тепловой скорости электронов,  $m$  – их масса,  $\hbar$  – постоянная Планка, а  $\omega_p^2$  – квадрат плазменной частоты,

$$f(p, k) = 5/12 - (p^2 / 4k^2) + \frac{(k^2 - p^2)}{8pk^3} \ln \left| \frac{p+k}{p-k} \right|.$$

Подставляя выражение для диэлектрической проницаемости (2) в формулу для потерь энергии (1), получим результаты, представленные на рисунке и которые имеют хорошее согласие с результатами других авторов [4].

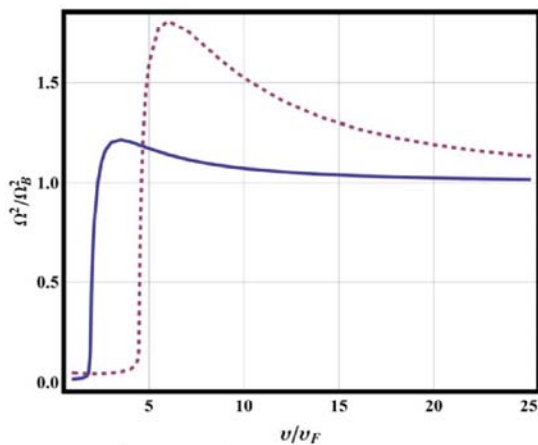


График разброса потерь энергии

Сплошная линия -  $\Gamma = 1.1, r_s = 2.5256,$

пунктирная линия -  $\Gamma = 0.11, r_s = 2.5256,$

где  $\Omega_B^2 = 4\pi e^4 n$  - формула Бора для флуктуации энергии.

Работа была выполнена в рамках гранта МОН РК № 3119/ГФ4, на базе НИИЭТФ при КазНУ им. аль-Фараби.

Литература:

1. Jacoby J., Hoffmann D.H.H., Laux W., Muller R.W., Wahn H., Weyrich K., et al. Stopping of heavy ions in a hydrogen plasma. // Phys.Rev.Lett. – 1995. - Vol.74. - P. 1550-1553.

2. A. Bret and C. Deutsch Straggling of an extended charge distribution in a partially degenerate plasma // Physical Review E V.48, N.4. p. 2989-2993, 1993.

3. Tkachenko I.M., Arkhipov Yu.V., Askaruly A. The method of moments and its applications in plasma physics. – Germany: Lap Lambert Academic Publishing, 2012. - 125 p.

4. Manuel D. Barriga-Carrasco Target electron collision effects on energy loss straggling of protons in an electron gas at any degeneracy // Physics of Plasmas 15, 033103 (2008).

## ДИСПЕРСИЯ ВОЛН В НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

Ю.В. Архипов<sup>1</sup>, А.Б. Ашикбаева<sup>1</sup>, А. Аскарулы<sup>1</sup>, А.Е. Давлетов<sup>1</sup>,  
Д.Ю. Дубовцев<sup>1</sup>, С.А. Сызганбаева<sup>1</sup>, И.М. Ткаченко<sup>2</sup>

Department of Plasma Physics, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,  
Instituto de Matemática Pura y Aplicada, Universidad Politécnica de Valencia,  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain

В работе [1] показано, что динамический структурный фактор (ДСФ) однокомпонентной плазмы может записан в рамках метода моментов в виде:

$$\frac{\pi S(q, \omega)}{n S(q)} = \frac{\omega_1^2(q)(\omega_2^2(q) - \omega_1^2(q)) \text{Im} Q(q, \omega)}{|\omega(\omega^2 - \omega_2^2(q)) + Q(q, \omega)(\omega^2 - \omega_1^2(q))|^2} \quad (1)$$

где  $\omega_1^2 = \omega_1^2(q) = \frac{S_2(q)}{S_0(q)}$ ,  $\omega_2^2 = \omega_2^2(q) = \frac{S_4(q)}{S_2(q)}$  - отношения моментов ДСФ,  $Q(q, \omega)$  является параметром-функции Неванлинны (ФПН).

Данная функция не является феноменологической величиной, т.е. не может быть определена из опыта. В настоящей работе мы моделируем ее в статическом виде  $Q(q) = ih(q)$ ,  $h(q) > 0$ . Анализируя экстремумы формулы для ДСФ (1), получаем следующее выражение для ФПН:

$$h(q) = h_0(q) = \frac{\omega_2^2(q)}{\sqrt{2}\omega_1(q)} \quad (2)$$

Используя формулу (2), мы можем вычислить дисперсию волн в плазме, решив дисперсионное уравнение:

$$\omega(\omega^2 - \omega_2^2(q)) + ih_0(q)(\omega^2 - \omega_1^2(q)) = 0. \quad (3)$$

Полученные результаты хорошо согласуются с данными молекулярной динамики.

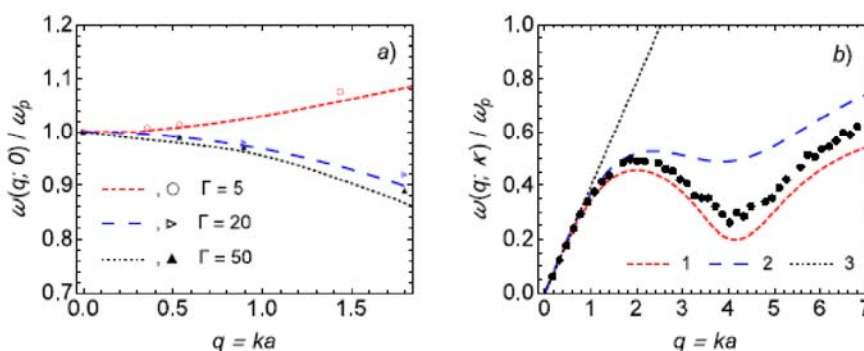


Рис. 1. Дисперсия волн а) в кулоновской плазме и б) в плазме Юкавы. 1 – точное решение ур. (3), 2 –  $\omega_2(q)$ , 3 –  $\omega(q) = c_s q$ , где  $c_s$  – скорость звука. Фигуры – данные МД.

Работа была выполнена в рамках гранта МОН РК № 3119/ГФ4 и 0263/ПЦФ-14, на базе НИИЭТФ при КазНУ им. аль-Фараби.

1. Igor M. Tkachenko, Yu. V. Arkhipov, A. Askaruly. The method of moments and its application in plasma physics. – Lambert Academic Publishing, 2012. – 125 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ КЕЙГЕНОВОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ И КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ЮКАВАВСКОЙ ЖИДКОСТИ Р.У. Машеева, К.Н. Джумагулова, З. Донко, Т.С. Рамазанов, П. Хартман, Т. Отт, М. Бониц .....	72
РАЗБРОС ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ Ю.В. Архипов, А. Аскарулы, А.Б. Ашикбаева, И.М. Ткаченко .....	74
ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ Е.О. Шаленов, К.Н. Джумагулова, Т.С. Рамазанов, Г. Роепке, Х. Рейнхольц .....	76
ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУМЕРНОЙ ЮКАВА СИСТЕМЫ, ВОЗМУЩЕННЫХ ДИПОЛЬ-ДИПОЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ А.Ж. Габдулин, Т.С. Рамазанов, Ж.А. Молдабеков.....	78
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ» Е. Ерланулы, Н.Б.Кенжебаев, Т.Т.Данияров, М.К.Досболаев, Т.С.Рамазанов, М.Т.Габдуллин .....	79
РЕВЕРСИВНОЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР В МАГНИТНОМ ПОЛЕ А.Р. Абдрахманов, М.К. Досболаев, Т.С. Рамазанов.....	81
ДАВЛЕНИЕ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ А.І. Ниязымбетов, М.М. Муратов .....	83
ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПРОДОЛЬНОГО ОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ К.Н. Джумагулова.....	84
ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ СМЕСИ АРГОНА И МЕТАНА М. Сламия, Т.С. Рамазанов, М.Т. Габдуллин, М.К. Досболаев, С.А. Оразбаев, Д.Б. Омирбеков .....	86
ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОФОБНОЙ И ГИДРОФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПЛАЗМЕННОЙ $Ar/CH_4$ СРЕДЕ С.А. Оразбаев, Т.С. Рамазанов, М.Т. Габдуллин, М.К. Досболаев, Д.Б. Омирбеков .....	88
ЭФФЕКТИВНЫЙ КВАЗИКЛАССИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ В ПЛОТНОЙ КВАНТОВОЙ ПЛАЗМЕ С.М. Амиров, Т.С. Рамазанов, Ж.А. Молдабеков.....	90
ТЫҒЫЗ ПЛАЗМАДАҒЫ СОҚТЫҒЫСУ ПРОЦЕСТЕРІ А.Б. Бактиярова, Қ.М. Төреханова.....	90
ДИСПЕРСИЯ ВОЛН В НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ Ю.В. Архипов, А.Б. Ашикбаева, А. Аскарулы, А.Е. Давлетов, Д.Ю. Дубовцев, С.А. Сызганбаева, И.М. Ткаченко.....	92
АҚПАРАТТЫҚ– КОММУНИКАТИВТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ҚОЛДАНУ З.С. Умбеталиева, Габдуллина Г.Л. ....	93
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДИЭЛЕКТРИКА И ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА А. Кисан, А.Е. Давлетов, И.Р. Габитов .....	94
САМОСОГЛАСОВАННЫЙ РАСЧЕТ ЗАРЯДА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ А.Е. Давлетов, Л.Т. Еримбетова, Е.С. Мухаметкаримов .....	96
СЕЧЕНИЯ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ К.Н. Джумагулова, Т.С. Рамазанов .....	98
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАПЫЛЕННОЙ ИОНОСФЕРЫ Қ.Е. Нұрғалиева .....	100