

- [1]Петрухин Н.С., Пелиновский Е.Н., Бацына Е.К. Безотражательное распространение акустических волн в атмосфере Солнца. Письма в *Астрономический Журнал*, 2012, том 38, No. 6, 439 - 445.
- [2]Ruderman M.S., Pelinovsky E., Petrukhin N.S., Talipova T. Non-reflective propagation of kink waves in solar magnetic tubes. *Solar Physics*, 2013, vol. 286, 417-426.<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1063/2013/nhess-13-1063-2013.pdf>.
- [3]Petrukhin N.S., Ruderman M.S., Pelinovsky E. Non-reflective propagation of kink pulses in magnetic waveguides in solar atmosphere. *Solar Physics*, 2015, vol. 290, No. 5, 1323-1335.

СУПЕРДИФФУЗИОННЫЕ СКЕЙЛИНГИ ПЕРЕНОСА В ПЛАЗМЕ: ТЕОРИЯ – ЭКСПЕРИМЕНТ

**С.П. Савин¹, В.П. Силин², В.П. Будаев^{1,3},
Л.С. Рахманова¹, М.О. Рязанцева^{4,1},
В.Ю. Попов^{4,1}, С.А. Урюпин²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² ФИ им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия;

³ НИЦ Курчатовский институт, г. Москва, Россия;

⁴ МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

Скейлинги аномального переноса (супердиффузии), полученные экспериментально в турбулентной плазме магнитосферы Земли и лабораторной плазме термоядерных установок и обработанные с помощью современных статистических каскадных моделей сильной турбулентности с перемежаемостью, предлагается рассматривать также в рамках подхода физической кинетики к теории турбулентности плазмы, в том числе ионно-звуковой турбулентности. Мы представляем сравнение данных с ведущих магнитосферных спутников и лабораторных установок в сравнении с современной теорией.

ЭЛЕКТРОН-ИОННАЯ ПЛАЗМА С ТОКОМ В РАВНОВЕСИИ С ИЗЛУЧЕНИЕМ

В.Ф. Туганов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, princet@rambler.ru.

Ток в плазме, будь плазма космическая или лабораторная, всегда, независимо от природы тока, - это ее нагрев. Омический нагрев прост и по физическим принципам, и по технологии его реализации: плазма, обладая сопротивлением R , нагревается. И хотя мощность нагрева $Q = I^2 R$ квадратично зависит от тока I , он всегда ограничен сверху условиями устойчивости плазмы. Поэтому достаточно большой нагрев может быть лишь при высоком *сопротивлении плазмы*. Но по мере нагрева полностью ионизованной плазмы оно быстро падает ($R \sim T^{-3/2}$) с ростом температуры T , и эффективность омического нагрева снижается: омический нагрев ограничивает сам себя. Поэтому для достижения, например, термоядерных температур ($T \sim 10^8$ К) используют другие методы нагрева. Но в условия космической плазмы их может и не быть. Зато есть нечто другое, чего практически нет в лабораторных условиях, - за исключением плотной плазмы (100 г/см^3), создаваемой в лазерных мишенях методами инерциального термоядерного синтеза. Здесь, так же как и в недрах звезд, плазма существует в условиях равновесия с излучением. Благодаря полной изотропии черного излучения из каждого элемента его объема исходит равномерно во все стороны поток энергии. Поэтому в системе координат, связанной с электроном, на него не действует никакая сила со стороны

излучения: здесь просто нет выделенного направления. Кстати, то же самое имеет место при этом и со стороны ионов. Но такой изотропии нет в лабораторной системе координат, где электрон движется со скоростью V . Как следствие, - возникает сила торможения от двух источников: и со стороны ионов, и со стороны фотонов. То есть, соответствующее ускорение электрона $a = - (v_{ei} + v_{ef})V$, а значит и сопротивление $R \sim v_{ei} + v_{ef}$ этой трех-компонентной плазмы обусловлено двумя частотами столкновений электронов с разной зависимостью от ее температуры T . Электрон-ионная частота $\nu_{ei}(T) \sim Zn/T^{3/2}$, где n – плотность плазмы, Z – эффективный заряд ионов, а частота электрон-фотонных столкновений, очевидно, пропорциональна 4-ой степени температуры, то есть, $\nu_{ef}(T) \sim \alpha \sigma T^4$, где α – коэффициент «черноты» излучения ($0 < \alpha < 1$), а σ - постоянная Стефана-Больцмана [1]. Следовательно, при $T_* \sim (nZ/\alpha)^{2/11}$ существует минимальный предел поглощаемой мощности омического нагрева $Q_{min} = Q(T_*) \sim (nZ)^{8/11} (\alpha)^{3/11}$, значение которого растет с увеличением любого из этих 3-х параметров системы: n , Z и α . Естественно, что применимость такого расширения технологии омического нагрева требует конкретного рассмотрения его условий как для космической плазмы, так и для лабораторной. В частности, для совместного российско-итальянского термоядерного проекта «Игнитор» (г. Троицк, Москва) только за счет планируемого в 10 раз повышения плотности плазмы n удалось бы, не меняя параметры Z и α , существенно повысить минимальную мощность нагрева Q_{min} , практически не изменив отвечающую ей температуру плазмы $T_* \sim 10^{7.8} (n/10^{14})^{2/11}$ К. При этом не менее важным остается и вопрос о динамике установления равновесия между всеми тремя компонентами такой плазмы. Включая и проблему ее отклика на включение (формально слабого) электрического поля: именно так и можно будет выявить соответствующие интегралы столкновений, проводимость плазмы и ее сопротивление.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. V. Статистическая физика. М.:Наука, 1975