Течение плазмы с отрицательными ионами вблизи границы с электрон-ионной плазмой

Ю.В. Медведев

ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия, medve@mail.ru

При образовании плазмы с отрицательными ионами в экспериментальных устройствах нередко возникает ситуация, когда рядом друг с другом существуют две области, одна из которых заполнена трёхкомпонентной плазмой, а другая – двухкомпонентной. То же самое наблюдается и при расширении плазмы с отрицательными ионами в вакуум [1]. Свойства плазмы с отрицательными ионами, время и условия её существования могут в значительной степени зависеть от свойств окружающей двухкомпонентной плазмы. Представляет интерес эволюция такого пространственного разделения двух сортов плазмы.

В докладе изучается движение плазмы с отрицательными ионами вблизи границы раздела с электрон-ионной плазмой. Рассматривается бесстолкновительная плазма в предположении, что электроны можно считать находящимися в равновесии с электрическим полем, а их плотность можно определять по формуле Больцмана. Задача ставится следующим образом. В начальный момент времени *t*=0 в области 1, полупространстве -∞<*x*<0, расположена однородно распределённая плазма с отрицательными ионами. Отношение массы отрицательного иона к массе положительного: *m*j / *m*i = 0,476 (ионы F- и Ar+). Отношение их начальных невозмущённых значений плотностей: *n*j1 / *n*i1 = 0,1. Плотность электронов здесь *n*e1 = 0,9 *n*i1. В точке *x*=0 имеется резкий переход к двухкомпонентной плазме однородно распределенной в области 2, полупространстве 0<*x*<∞, где *n*i2 *= n*e2. Начальная плотность положительных ионов одна и та же во всём пространстве *n*i1 *= n*i2. Температуры положительных и отрицательных ионов существенно меньше температуры электронов и полагаются равными нулю. Эволюция такого образования исследуется с помощью численного моделирования по методу частиц в ячейке.

Было установлено, что начальный разрыв электронной плотности распадается таким образом, что в плазму с отрицательными ионами движется бесстолкновительная ударная волна (БУВ), волна сжатия положительных ионов, а отрицательные ионы испытывают разрежение. Отметим, что при расширении плазмы с отрицательными ионами в вакуум имеет место обратная ситуация, и возникает ударная волна разрежения (положительных ионов) [1]. Кроме того, здесь в сторону электрон-ионной плазмы распространяется волна, имеющая такую же структуру с фронтом и последующими осцилляциями, но производящая не сжатие, а разрежение, и движущаяся со скоростью, не превышающей скорость звука (осцилляторная волна разрежения [1]). Интересно отметить, что плотность электронов на плато, следующем за фронтом БУВ, близка к значению (*n*e1 / *n*i1)1/2 ≈ 0,949. Именно по такой формуле определяется плотность частиц на плато за фронтом БУВ в обычной плазме [1, 2].

Положительные ионы в БУВ движутся в направлении распространения волны, а отрицательные ионы – в противоположном. В осцилляторной волне разрежения движение положительных ионов происходит против направления распространения волны. Во всей области ионы разных знаков движутся навстречу друг другу. В результате этого развивается двухпотоковая неустойчивость, которая проявляется в виде коротковолновых осцилляций. Такая неустойчивость в плазме с отрицательными ионами подробно исследована в [3].

Литература

1. Медведев Ю. В. Нелинейные явления при распадах разрывов в разреженной плазме. – М.: Физматлит. 2012. – 344 с.
2. Гуревич А. В., Мещеркин А. П. ЖЭТФ. 1984. Т. 87, С.1277.
3. Medvedev Yu. V. Plasma Phys. Control. Fusion, 2002, V.44. P.1449.