Влияние коллективных процессов на температуру и степень ионизации разлетающейся в вакуум лазерной плазмы

И.В. Рудской

НИЦ "Курчатовский институт", г. Москва, Россия
Институт теоретической и экспериментальной физики, г. Москва, Россия,
 roudskoy@itep.ru

Зарядовый состав плазмы, производимой при фокусировке лазерного излучения на поверхность твердотельной или газообразной мишени, формируется не только на стадии взаимодействия излучения с веществом, но и в процессе последующего разлета плазменного сгустка в вакуум [1]. Изменения, которые претерпевает зарядовый состав на стадии разлета плазмы, обуславливаются многими факторами: энергией и длительностью лазерного импульса, длиной волны излучения, размером пятна фокусировки и материалом самой мишени [2]. Величина этих изменений в наибольшей степени зависит от скорости спадания электронной температуры в процессе разлета. Ранее уже было показано [3], что процесс разлета не является адиабатическим: большое влияние на энергетический баланс оказывает высвобождение энергии при рекомбинации ионов в ходе разлета (рекомбинационный подогрев). Это приводит к тому, что на поздней стадии разлета температура спадает с расстоянием существенно медленнее, чем это предписывается адиабатическим законом —
~***r***–14/13 вместо ~***r***-2. Что, в свою очередь, приводит к “заморозке” степени ионизации плазмы при любых начальных условиях [2]. Однако величина рекомбинационных потерь может быть достаточно высокой, не смотря на “заморозку”.

В настоящей работе показано, что для правильного расчета зарядового состава плазмы на больших расстояниях от мишени необходимо принимать во внимание еще один важный фактор: начиная с определенного момента, гидродинамический подход к описанию разлета плазмы перестает быть справедливым, так как длина свободного пробега (электронов в первую очередь) начинает превышать характерные размеры экспериментальной установки.

Для реализации кинетического подхода к описанию поздней стадии разлета лазерной плазмы был разработан численный 2D3V PIC код (двухмерный в конфигурационном пространстве и трехмерный в пространстве скоростей), в котором методом Монте-Карло учитываются ионизационно-рекомбинационные процессы при столкновениях заряженных частиц, а также при их столкновениях с молекулами остаточного газа. Проведенные численные расчеты показали, что при определенных условиях коллективные процессы в разлетающейся лазерной плазме могут поддерживать электронную температуру сгустка на весьма высоком уровне в течение всей стадии разлета. Это приводит к существенному увеличению степени ионизации плазмы по сравнению с теми значениями, которые дает гидродинамическое описание.

Результаты численных расчетов сравниваются с экспериментальными данными [4, 5]. Показано, что наблюдавшееся ранее расхождение расчетных и экспериментальных значений степени ионизации плазмы при высоких плотностях потока лазерного излучения, может быть вызвано занижением температуры электронной компоненты плазмы, которое дает гидродинамический подход.

Литература

1. L.Z.Barabash et al, Laser and Particle Beams, 1984, v. 2, no. 1, pp. 49-59.
2. I.V.Roudskoy, Laser and Particle Beams, 1996, v. 14, no. 3, pp. 369-384.
3. В.Латышев, И.В.Рудской, Физика плазмы, 1985, т. 11, вып. 10, с. 1175-1180.
4. B.Sharkov et al, Laser and Particle Beams, 1999, v. 17, №4, pp.741-747
5. K.Rohlena et al, Laser and Particle Beams, 1996, v.14, no3., pp.335-346