Прогресс в исследованиях генерации ударной волны с гигабарным уровнем давления в лабораторном эксперименте

1,2С.Ю. Гуськов

1Физический институт им П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия,
2Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия,
guskov@sci.lebedev.ru

Переход в исследованиях уравнения состояния (УРС) вещества к гигабарному уровню давления имеет принципиальное значение для понимания и адекватного описания гидродинамических и термодинамических процессов в астрофизических объектах и мишенях инерциального термоядерного синтеза. Перспективные методы достижения рекордных давлений в лабораторном эксперименте, направленном на генерацию плоской ударной волны, так или иначе, связаны с воздействием на вещество мощного импульса лазерного излучения. В основе такого подхода лежит тот факт, что на сегодняшний день именно использование лазерного излучения дает возможность обеспечить максимальную плотность потока энергии на поверхности мишени. В современных экспериментах традиционно используются два метода генерации мощной ударной волны. Один из них состоит в создании абляционного давления на поверхности мишени за счет нагрева вещества непосредственно лазерным излучением. Предельное давление ударной волны составляет в этом случае около 100 Мбар. Второй метод состоит в генерации ударной волны в результате столкновения макрочастиц, ускоренных под действием лазерного импульса. В этом случае предельное значение давления близко к 500 Мбар. Возможность достижения предельных давлений для обоих способов генерации ударной волны подтверждена в экспериментах. Тем не менее, современные эксперименты по исследованию УРС-вещества на лазерных установках с энергиями до 10 кДж проводятся на более низком уровне давления, составляющим несколько десятков Мбар. Это связано с тем, что требования к условиям проведения УРС-экспериментов, которые состоят в том, что волна должна оставаться плоской и квазистационарной в течение всего периода проведения измерений, накладывают ограничения на минимальные значения длительности импульса и радиуса лазерного пучка.

В данном обзоре основное внимание уделяется еще одному походу к проблеме генерации мощной ударной волны, в основе которого лежит нагрев вещества потоком быстрых электронов, образующихся при воздействии на мишень лазерного излучения высокой интенсивности. Исследования в этой области активно проводятся в различных лабораториях в последние 2-3 года. Такой подход может обеспечить генерацию ударной волны с давлением за фронтом в несколько Гбар и переход в перспективе к исследованию УРС вещества на гигабарном уровне давления. Обсуждаются результаты экспериментов, выполненных на различных лазерных установках, по исследованию преобразования энергии лазерного излучения в энергию быстрых электронов, нагрева вещества потоком быстрых электронов, формирования абляционного давления и генерации ударной волны при переносе энергии этими частицами. Представлены теоретические модели и результаты численных расчетов генерации плоской ударной волны с гигабарным уровнем давления за фронтом при нагреве вещества потоками быстрыми электронов с различным спектром частиц. Результаты расчетно-теоретических исследований показывают возможность обеспечить требования к условиям УРС-экспериментов на уровне давления 1-2 Гбар при нагреве вещества потоком быстрых электронов, образующихся при воздействии на мишень лазерного импульса с интенсивностью 10-100 ПВт/см2 и энергией 10-30 кДж.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-02-00010.