влияние предымпульсов на энергию быстрых частиц, генерируемых на тыльной стороне мишени под действием мощного пикосекундного лазерного импульса

\*В.С. Беляев, Н.Н. Демченко, \*А.П. Матафонов, В.Б. Розанов

ФИАН, Москва, РФ, demch@sci.lebedev.ru
\*ЦНИИМАШ, Королев, РФ, anatolymatafonov@mail.ru

Проведен теоретический анализ результатов эксперимента на лазерной установке «Неодим» (ЦНИИМАШ) по ускорению протонов на тыльной стороне плоской алюминиевой мишени (протоны присутствуют на поверхности из-за адсорбции гидрокарбонатов или воды). Лазерный импульс состоял из основного импульса и двух предымпульсов. Основной импульс имел энергию 10 Дж, максимальную интенсивность 21018 Вт/см2 и длительность 1.5 пс на полувысоте. Первый предымпульс имел длительность 1.5 пс и интенсивность 21010 Вт/см2. Второй предымпульс, обусловленный усиленной спонтанной эмиссией (УСИ), начинался в момент времени 6 нс после первого предымпульса и линейно нарастал в течение 8 нс, затем в момент 14 нс следовал основной импульс. Интенсивность предымпульса УСИ равнялась 21010 Вт/см2 на полувысоте. В эксперименте обнаружено, что энергия протонов, ускоренных на тыльной стороне мишени, в зависимости от толщины мишени имеет максимум, равный 5 МэВ и возникающий при толщине мишени 10 мкм. Падение энергии протонов при увеличении толщины мишени объясняется потерями энергии быстрых электронов при пролете через слой. Падение энергии протонов при уменьшении толщины мишени ниже 10 мкм объясняется разрушением тыльной стороны мишени ударной волной от предымпульсов. Интенсивность предымпульсов установки «Неодим» настолько мала, что создаваемое давление в мишени существенно ниже холодного давления, возникающего при сжатии алюминия. Расчеты с помощью гидродинамической программы RAPID, учитывающей холодное давление, показали, что создаваемая предымпульсами ударная волна является акустической, ее скорость равна скорости звука 6.26105 см/с. Из расчета следует, что первый предымпульс создает в алюминии импульс давления с профилем в виде треугольника. Давление в максимуме этого импульса в несколько раз превосходит предел прочности алюминия (5108 эрг/см3). Следовательно, при выходе волны сжатия на тыльную поверхность мишени будет происходить откол части мишени. Оценка толщины отколотого слоя дает значение около 0.4 мкм. Оторвавшийся слой летит со скоростью, равной удвоенной массовой скорости в волне. Так как предымпульс УСИ начинается только в момент времени 6 нс, то за это время оторвавшийся слой удаляется от основного слоя. Под действием предымпульса УСИ основной слой ускоряется до скоростей примерно на порядок величины выше скорости отколовшегося слоя. Поэтому основной слой догоняет отколовшийся слой и ударяет по нему. При этом тонкий слой приобретет скорость, равную удвоенной скорости основного слоя. Отколотый слой будет удаляться от основного с постоянной скоростью. Скорость основного слоя нарастает, и он может догнать отколотый слой и ликвидировать зазор между слоями. Это зависит от начальной толщины мишени. Расчет показал, что к моменту прихода основного импульса зазор появляется при толщине мишени менее 16 мкм. При толщинах мишени 10 мкм и 5 мкм ширина зазора равна 0.59 мкм и 1.2 мкм соответственно. Дебаевский радиус быстрых электронов равен 0.75 мкм. Это и объясняет наблюдаемый в эксперименте максимум энергии протонов, ускоренных на тыльной стороне мишени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №13-02-00295).