Самоинжекция электронов в кильватерную волну лазерного импульса, проходящего через резкую границу плазмы

Кузнецов С.В.

Объединенный институт высоких температур РАН, shenau@rambler.ru

Проведено исследование генерации коротких электронных сгустков при прохождении лазерного импульса релятивистской интенсивности через резкую границу плазмы и определены главные черты физического механизма, лежащего в основе данного процесса.

Посредством численного моделирования наглядно продемонстрировано, что рассмотренное в работе явление генерации электронных сгустков лазерным импульсом является следствием многопотокового движения электронной компоненты плазмы. Такое движение плазмы можно представлять в виде процесса взаимного пересечения траекторий электронов плазмы, каждый из которых первоначально является плазменным осциллятором, возбужденным лазерным импульсом и совершающим свободные колебания относительно своего начального положения, которое он занимает до воздействия лазерного импульса на него. Необходимым условием пересечения траекторий осцилляторов является превышение их полной энергии осцилляции  над пороговым значением , определяемым групповой скоростью лазерного импульса.

Явление пересечения траектории плазменного осциллятора с траекторией соседнего с ним приводит к самоинжекции данного электрона в кильватерную волну лазерного импульса, что является физическим механизмом генерации им электронного сгустка. При условии незначительного превышения полной энергии плазменных осцилляторов над пороговым значением  те электроны, точка самоинжекции которых попадает в область ускоряющей фазы кильватерной волны, удерживаются в генерируемом сгустке и захватываются кильватерным полем. Такие электроны составляют основную массу генерируемого лазерным импульсом электронного сгустка. Другие электроны, самоинжекция которых происходит вблизи границы ускоряющей области фазы или в тормозящей области фазы кильватерного поля, захватываются кильватерной волной лишь частично. Их захват возможен после того, как начнется процесс массового перетока не участвующих в процессе самоинжекции фоновых электронов плазмы через движущийся вслед за лазерным импульсом сгусток захваченных электронов.

Для определения параметров генерируемого лазерным импульсом электронного сгустка определена аналитически траектория электрона-лидера, то есть того электрона, который первым инжектируется в кильватерную волну и находится в головной части сгустка. Показано, что на этапе формирования электронного сгустка, когда происходит самоинжекция фоновых электронов плазмы в кильватерную волну, длительность электронного сгустка и разброс по энергии электронов в нем определяются траекторией электрона-лидера и изменением на ней его энергии. Получены простые формулы для оценки длительности электронного сгустка и энергетического разброса электронов в нем по окончании процесса его формирования. Показано, что характеристики сгенерированного электронного сгустка определяются групповой скоростью лазерного импульса и энергией плазменных осцилляторов, которые он возбуждает. Найдено, что длительность электронного сгустка может составлять величину порядка нескольких десятков аттосекунд при относительном разбросе по энергии между электронами менее 10 %.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00124)

Литература.

1. Кузнецов С.В. Квантовая электроника, 2017, Т. 47, №2, C.87–96.