



ЛАЗЕРНАЯ ПЛАЗМА

Авторы: С. Ю. Гуськов, В. Б. Розанов

ЛАЗЕРНАЯ ПЛАЗМА, плазма, образующаяся при ионизирующем воздействии мощного лазерного излучения на вещество. Напр., Л. п. возникает при оптическом пробое в газовых средах, облучении лазером поверхности твёрдого тела, в лазерных термоядерных мишенях.

Для Л. п. характерны сильное взаимодействие электронов с электромагнитным полем лазерного излучения, что приводит к эффективному поглощению излучения; значительная пространственная неоднородность темп-ры и плотности; перенос энергии собственным излучением плазмы, электронами и ударными волнами из зоны поглощения в плотные области вещества; испускание теплового излучения в широком спектральном диапазоне. Л. п. может существовать в широком диапазоне температур – от 1 эВ до 10^4 эВ (10^4 – 10^8 К), скоростей движения – до 10^8 см/с; давлений – более 10^{11} Па; время жизни Л. п. определяется длительностью воздействующего лазерного импульса и временем разлёта вещества.

Во всех разновидностях Л. п. начальная стадия её образования связана с оптич. пробоем, возникающим или в результате ионизации электронным ударом с последующим образованием *[лавины электронной](#)*, или в результате *[многофотонной ионизации](#)*. Как правило, первый механизм вносит больший вклад в процесс ионизации. Вклад многофотонной ионизации увеличивается с ростом интенсивности лазерного излучения и с уменьшением плотности вещества. В Л. п. наблюдались ионы с очень высокой кратностью ионизации (вплоть до 40–50).

В Л. п. экспериментально наблюдаются самофокусировка лазерного луча (уменьшение его диаметра при распространении в неоднородной плазме) и филаментация (спонтанное возникновение и рост мелкомасштабных неоднородностей

поля при первоначально однородном волновом фронте). Причина этих эффектов – давление электромагнитного поля лазерного излучения или неоднородный нагрев плазмы, локально изменяющие её плотность и коэф. преломления и, следовательно, влияющие на распространение лазерного излучения.

Воздействие мощной световой волны на Л. п. приводит к образованию плазменных волн (колебаний электронной и ионной плотностей), которые взаимодействуют с первичной и рассеянной световыми волнами. В результате образуются электромагнитные волны с частотой, кратной частоте падающей световой волны (т. н. гармоники). Вероятность генерации высоких гармоник увеличивается с увеличением интенсивности лазерного излучения. При интенсивностях 10^{20} – 10^{21} Вт/см² экспериментально зарегистрированы гармоники до номера 3200. Энергия квантов излучения наиболее высоких гармоник достигает 3800 эВ при энергии кванта лазерного излучения 1,18 эВ (для излучения лазера на неодимовом стекле).

При высоких интенсивностях лазерного излучения, превышающих 10^{14} – 10^{15} Вт/см², распределения электронов и ионов в Л. п. неравновесны – в ней наблюдаются надтепловые (быстрые) электроны и ионы. Генерация быстрых электронов связана с резонансным возрастанием электрич. поля в области поглощения и ускорением электронов этим полем. В свою очередь, электрич. поле быстрых электронов приводит к ускорению ионов. Число быстрых электронов и ионов и их энергия растут с ростом интенсивности и длины волны лазерного излучения. В совр. экспериментах при интенсивности 10^{20} – 10^{21} Вт/см² энергия быстрых электронов и ионов достигает нескольких сотен МэВ.

Темп-ра Л. п. растёт с увеличением интенсивности лазерного излучения. При совр. уровне лазерной техники относительно легко достигается темп-ра в неск. кэВ (10^7 – 10^8 К), достаточная для протекания термоядерной реакции. Впервые термоядерная реакция, инициированная лучом лазера, осуществлена в 1968 в Физич. ин-те им. П. Н. Лебедева АН СССР. При столь высоких температурах Л. п. представляет собой мощный источник жёсткого рентгеновского излучения. В это излучение может быть преобразовано до 60% энергии лазерного импульса. Эффективность испускания возрастает с увеличением атомного номера ионов плазмы.

В Л. п. экспериментально обнаружены сверхсильные магнитные поля (с магнитной индукцией до 10^2 – 10^3 Тл). Генерация магнитных полей в Л. п. связана с возникновением замкнутых термоэлектрич. токов (термоэдс), причиной появления которых является несовпадение направлений изменения темп-ры и плотности электронов плазмы.

Одно из осн. приложений Л. п. связано с исследованиями в области [лазерного термоядерного синтеза](#) и основано на возможности создания в Л. п. высоких температур и давлений. Л. п. применяется также в качестве мощного, практически точечного рентгеновского источника для диагностики (в физич. экспериментах), рентгенографии и т. п.; как источник для получения многозарядных ионов и дальнейшего их ускорения в ускорителях заряженных частиц. Л. п. используется также в качестве первичной плазмы для заполнения установки в исследованиях по магнитному управляемому термоядерному синтезу и в плазмохимич. установках, а также в установках, производящих наноразмерные и наноструктурные материалы и образцы.

Литература

Лит.: Райзер Ю. П. Лазерная искра и распределение разрядов. М., 1974;
Взаимодействие мощного лазерного излучения с плазмой. М., 1978; Лазерная плазма. Физика и применения. М., 2003.