

ПЛАЗМА КАК РАБОЧЕЕ ТЕЛО ^{*)}

Медведев А.Э.

Институт лазерной физики СО РАН, arey100x@gmail.com

Приближаются две даты, определившие начало становления физики плазмы: 150 лет со времени, как Крукс объявил о четвёртом состоянии вещества, и 100 лет как это состояние было названо “плазмой”. Несмотря на множество приложений, начиная от бытовых и заканчивая отраслями промышленности, где применение плазмы является критическим, за прошедшее время академическое содержание понятия “плазма” определившееся работами Шоттки [1] и Ландау [2] не изменилось. Вместе с обилием свидетельств “аномального” переноса, бывает на порядки превосходящего диффузию, одновременно существует точка зрения, что диффузия остаётся доминирующей в переносе плазмы как целого. Из эвристического положения Ландау, что каждая заряженная частица в плазме экранируется соседними, неминуемо следует, что в плазме отсутствуют потоки по своей величине сколько-нибудь сравнимые с диффузионным переносом.

Однако, ещё со времён создания мощных электроразрядных лазеров известно, что в плазме газового разряда повышенных давлений, заряженные частицы вносятся в объём из приэлектродных областей [3], а не рождаются в объёме под действием электронного удара, как в классических разрядах низких давлений. Новым вызовом для физики низкотемпературной плазмы послужил разряд атмосферного давления [4, 5], который стал привлекательным из-за отсутствия необходимости в вакуумных объёмах. Ввиду постоянства параметра приведённого электрического поля, потоки заряженных частиц при атмосферных давлениях становятся настолько значительными, что их небольшой дивергенции достаточно для компенсации потерь, при этом исчезает необходимость в ионизации газа в объёме [5]. Несмотря на прозрачность механизмов поддержания и формирования структуры разряда атмосферного давления [6], до сих пор существует мнение, что причина наблюдаемых низких электрических полей кроется в слабо изученной ступенчатой ионизации [4]. Кроме того, вследствие гипотезы Ландау об экранировании, единственным источником частиц в объёме газового разряда является ионизация, благодаря которой с необходимостью включается механизм ионизационно-перегревной неустойчивости и ограничение удельных вкладов в объём разряда. По мнению автора, доминирование представлений об ионизационно-перегревной неустойчивости послужило причиной остановки исследований, направленных на развитие мощной газоразрядной техники в нашей стране и за рубежом [6].

Таким образом, теория плазмы, сложившаяся на основе моделирования светящихся рекламных трубок и распространения радиоволн в верхних слоях атмосферы, а затем укрепившаяся исследованиями горячей плазмы, оказалась совершенно непригодной для плазмы средних и атмосферных давлений. С подъёмом давления плазмообразующего газа и превышением величины в десятки-сотни Торр плазма переходит из объекта исследований как идеальной системы, без взаимодействий между частицами, в плазму как рабочее тело, с проходящими через неё гигантскими потоками энергии и вещества, причём электрический ток газового разряда является одним из наиболее характерных видов таких потоков.

Работа выполнена в рамках темы FWGU-2021-0003.

Литература

- [1]. Sottky W. Phys. Zeit., **25**, 638 (1924).
- [2]. Ландау Л.Д. ЖЭТФ, **7**, 203, (1937).
- [3]. Велихов Е.П., Голубев В.С., Пашкин С.В. УФН, **137**, 117, (1982).
- [4]. Becker K.H. IEEE Trans. Plasma Sci., **37**, 711, (2009).
- [5]. Medvedev A.E. EPJ D, **70**, 37 (2016).
- [6]. Medvedev A.E., Pinaev P.A. AIP Conf. Proc. **2351**, 030081 (2021).

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)