Отчет о проделанной научной работе за осенний семестр 2020 года.

Определение параметров плазмы с помощью эмиссионной спектроскопии.

Уланов Павел Юрьевич, группа 204М.

Для расчета параметров плазмы использовались методы эмиссионной спектроскопии. Спектры регистрировались при импульсном напряжении 25 кВ и электрическом токе ≈ 1 кА. В проделанной работе измерялись значения энергии электронов и значения приведенного электрического поля E/N с помощью спектров излучения разряда в потоке и в неподвижном воздухе.

# Определение энергии электронов.

В ходе экспериментов регистрировались эмиссионные спектры скользящего поверхностного разряда. В неподвижном воздухе при высоких давлениях и в потоке присутствует непрерывная часть спектра в области от 200 – 850 нм, характеризующаяся сходным характером огибающей с максимумом в области 410-450 нм. В данной области на континуум накладываются полосы второй положительной системы азота и интенсивные линии атомов.

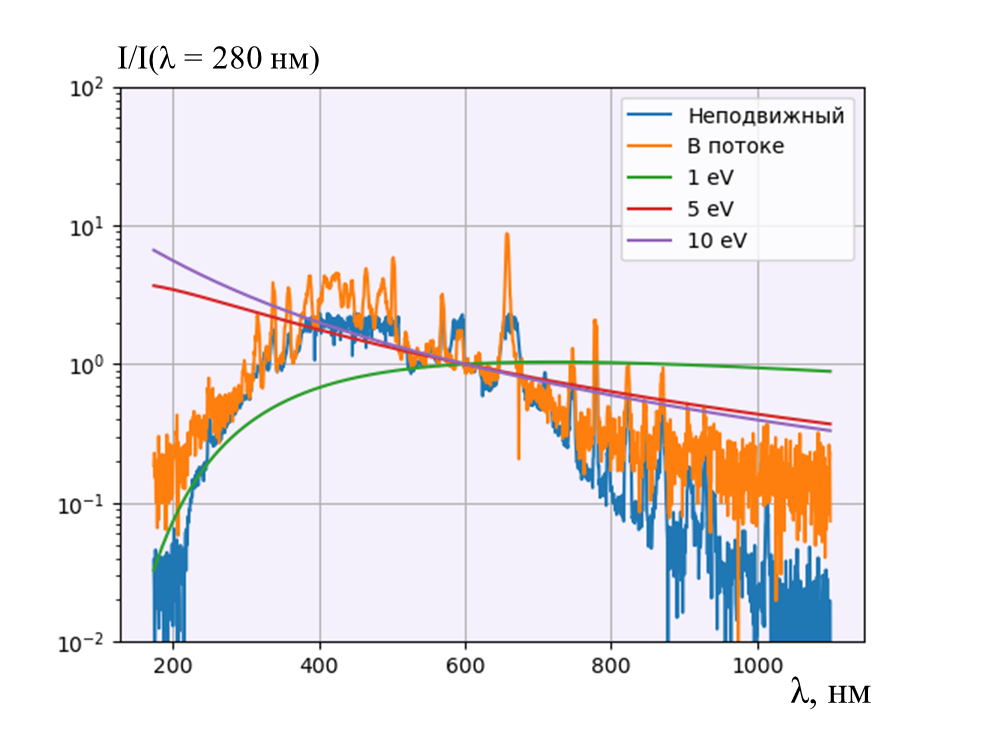
Для систем электрон – положительный ион существует три типа перехода: свободно – свободные, связно – свободные и связно связные. Свободно-свободные переходы обусловлены тормозным излучением и тормозным поглощением при столкновении электронов с ионами в кулоновском поле. Учитывая, что форма континуальной части спектра имеет схожий характер кривой с тормозным излучением, для построение теоретических графиков использовалась зависимость излучательной способности от длины волны:

где – константа, - концентрации электронов и положительных ионов, и – константы Планка и Больцмана, *с* – скорость света, – температура электронов.

При этом излучают в основном кванты с энергией , что соответствует максимуму. Для значений энергии электронов 3-10 эВ максимум лежит в диапазоне 70 – 250 нм. При увеличении энергии электронов максимум спектра смещается в ультрафиолетовую область.

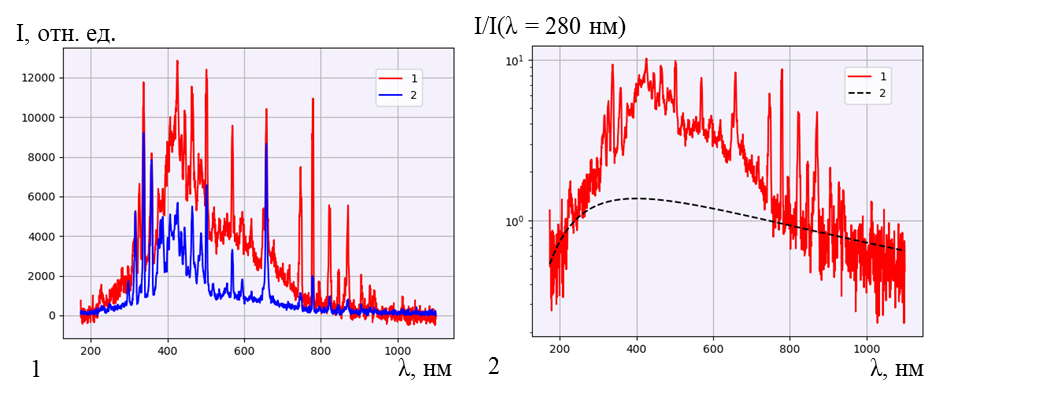
Для того, чтобы константы не влияли на результат, строился отнесенный спектр на интенсивность на определенной длине волны. Экспериментальная установка имеет широкую длинноволновую область от 150 – 1100 нм, так что в первой серии экспериментов использовалась длина волны в середине диапазона ≈ 600 нм. Для с равнения строились несколько теоретических спектров для значений энергий электронов 1 еВ, 3 еВ, 10 еВ и экспериментальный спектр в неподвижном воздухе при высоком давлении и в потоке (Рис.1). Для энергий выше 3 еВ в области континуума профили спектров слабо различимы и меняются на уровне шума от наложенных линий атомов. Для длин волн от 510 – 645 нм наблюдается наилучшее соответствие теоретической зависимости и экспериментальных данных.

Однако это достаточно узкая полоса, чтобы достоверно говорить о сходимости теоретического профиля с экспериментальным. Для общей области от 200 – 850 нм, полученная полоса соответствия составляет лишь 20%.



**Рис. 1** Спектры неподвижного воздуха (плотность 0.12 кг/м3) и в потоке (число Маха 1.55) с нанесенными теоретическими зависимостями.

Также была проведены цифровая обработка, при которой интенсивности нормировались на длину волны, в области которой континуум меньше всего перекрывается полосами (Рис. 2.2). Теоретический спектр был построен при энергии электронов в 1,8 еВ. При 280 нм, на экспериментальном спектре отмечается лишь возрастающая часть континуума (Рис. 2.1).



**Рис. 2**Эмиссионные спектры в потоке (число Маха 1.37) (1.1) и неподвижном воздухе (плотность 0.10 кг/м3) (1.2); и экспериментальных данных в потоке (число Маха 1.37) (2.1) сравнение нормированных спектров теоретической зависимости при Te = 18000 K (2.2).

На спектре видно, что экспериментальные данных хорошо сходятся в области от 200 – 300 нм и от 750 – 1100 нм. Учитывая, что в области от 300 – 500 нм на континуум накладывается вторая положительная система азота и линии атомов, профиль теоретического спектра хорошо согласуется с экспериментом. Однако, максимум теоретической огибающей смещен левее максимум экспериментального спектра.

В результате цифровой обработки спектров, были получены значения для энергии электронов от 1,8 – 2,2 эВ. Результаты обработки, при которой нормировка спектров была на середину длинноволнового диапазона, не были учтены, так как схождение было в узком диапазоне 510 – 645 нм. Так как из-за сильного наложения полос в области максимума невозможно однозначно установить огибающую необходимо ориентироваться на соответствие в области «хвостов».

Из сравнительного анализа можно сделать следующие выводы: профиль континуальной части эмиссионного спектра для неподвижного воздуха и в случае сверхзвукового потока сходится, для разных давлений и чисел Маха, пик непрерывной части лежит в области от 410 – 450 нм, однако из-за сильного наложения линий второй положительной системы азота и полос атомов конкретизировать расположение максимума не представляется возможным, оценочные значения энергий электронов сходятся и лежат в области от 1,8 – 2,2 эВ.

# Определение