

ИЗМЕРЕНИЕ АБСОЛЮТНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$

С.К. Кунаков

Алматинский технологический университет, г.Алматы

Представлены экспериментальные измерения абсолютных спектров гелиевой плазмы, образованной в активной зоне стационарного ядерного реактора ВВР-К. Подробно описана экспериментальная установка и проанализированы результаты эксперимента.

Введение

Значительные возможности в исследовании плазмы, образованной продуктами ядерных реакций, открывает использование оптических методов. Известно, что спектральный метод наиболее информативен из существующих методов исследования плазмы, он в принципе позволяет определить распределение молекул по возбужденным состояниям и кинетические процессы их определяющие.

Работы по проведению спектральных измерений в условиях стационарного ядерного реактора впервые были проведены на реакторе ИТР Института физики АН Латвии [1]. Определенные спектральные исследования были проведены ранее в Институте ядерной физики Московского Университета, применительно к созданию гелий – ртутного лазера [2-4]. Эти исследования касались уже спектра оптического излучения плазмы.

Наиболее систематические исследования спектров плазмы, образованной продуктами ядерных реакций, были позднее проведены на реакторе ИТР Московского инженерно-физического института [4]. Зарубежные работы по теме исследования спектральным методом плазмы, образованной продуктами ядерных реакций, носят в основном характер кратких сообщений типа [5]. Наиболее подробной публикацией по спектральным исследованиям является работа [5], в которой впервые публикуются спектры, полученные на импульсном ядерном реакторе.

В перечисленных работах [5-7], выполненных на стационарных ядерных реакторах, по спектральному исследованию оптического излучения, плазмы, образованной продуктами ядерных реакций, существует ряд не вполне удовлетворительных методов. Во-первых, исследования проводятся в узком диапазоне длин волн, иногда ограничиваясь только частью видимого диапазона.

Во-вторых, ряд результатов носит чисто качественный характер: приводятся длины волн линий и интенсивности или спектры, не исправленные на спектральную функцию установки.

В-третьих, спектральные измерения не опубликованы или не проведены по ряду интересных в области преобразования энергии газообразных сред.

В-четвертых, представляет интерес влияние внешних параметров, таких как давление, температура, поток тепловых нейтронов, на спектры оптического излучения газообразных веществ.

В-пятых, не проведены абсолютные спектральные измерения.

1 Экспериментальная часть

В условиях стационарного ядерного реактора ВВР-К автором данной работы совместно с Редькиным А.В. проведены абсолютные измерения спектров оптического излучения плазмы: ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$ в диапазоне длин волн 400-800 нм. Для этой цели создана установка, принципиальная схема которой показана на рис.1. Источником излучения являлась ядерно-возбуждаемая плазма ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$, образующаяся при облучении стеклянной ампулы заполненной ${}^3\text{He}$, с окном из радиационно-стойкого стекла С-96.

Спектральное исследование оптического излучения плазмы, образованной продуктами ядерных реакций, имеет также определенные особенности (в отличие от многих других работ по облучению материалов на реакторе); измерения должны проводиться в условиях работы реактора на мощности. Важность подобных работ (проведение измерений в процессе облучения) неоднократно подчеркивалась. Трудности, связанные с этим, заключаются в обеспечении биологической защиты при минимальных потерях светового излучения и в сложностях регистрации спектра в условиях реактора. Первая трудность разрешима с помощью выбора определенной конструкции экспериментальной установки; вторую позволяет решить фотоэлектрический метод регистрации оптического излучения, особенно при использовании техники счета фотонов.

В поле реакторного излучения многие оптические материалы уменьшают свою пропускную способность, а отражающие – увеличивают поглощательную. Поэтому очень важно обеспечить в процессе работы постоянство оптических свойств установки, а также выходного окна ампулы. Биологическая защита при выводе оптического излучения может обеспечиваться различными способами. Ее реализация основывается на различии взаимодействия с веществом жесткого реакторного излучения и “мягкого” ($h\nu \approx 0.3-3\text{эВ}$) оптического излучения. Можно использовать свойство отражать оптическое излучение от определенных материалов (зеркальных покрытий), тогда как жесткое реакторное излучение либо поглощается в данном материале, либо проходит сквозь него. Обычно в спектральной диагностике используют ампулы с окном из цериевого стекла [3]. Если не осуществлять спектральную обработку спектра, то регистрируемый (записываемый) спектр будет искажен по отношению к спектру излучения. Исправление спектров производится с помощью спектральной функции. Но определенную информацию о плазме можно получить и из неисправленных спектров. В частности, из регистрируемых спектров можно определить какие атомы и молекулы высвечиваются. Кроме того, исследуя зависимость интенсивности излучения от вкладываемой в газ мощности, можно проследить изменение спектра в зависимости от химического состава плазмы. Но при этом следует отметить, что при анализе регистрируемых спектров можно сопоставить результаты по одной линии, и нельзя сравнивать интенсивности различных линий. Переход к относительным спектрам (учет спектральной функции установки) дает возможность проводить сравнения интенсивностей различных линий и тем самым получать несравненно более полную информацию при измерениях спектральных распределений интенсивностей и сравнить с теоретическими расчетами. Кроме основных искажающих факторов, которые связаны с выводом оптического излучения из реактора (выходное окно ампулы, световод с зеркалом), его анализом (монохроматор), регистрацией (ФЭУ) существует ряд дополнительных.

К дополнительным искажающим факторам следует отнести:

а) необратимые изменения химического состава ампулы,
б) излучение воздуха в экспериментальном канале. Соотношение полезный/паразитный сигнал примерно соответствует соотношению энергокладов, излучение от канала представляет собой множество молекулярных полос (большинство от азота) газов воздуха с довольно сильным континуумом. Хотя это излучение мало его нужно учитывать при измерении слабых континуумов от плазмы исследуемых смесей,

в) люминесценция стекла ампул (люминесценция стекол, активированных церием, зависит от степени окисления; люминесцируют лишь стекла, содержащие в своем составе ионы трехвалентного церия). Полосы поглощения трехвалентного церия расположены в области 310-320 нм.

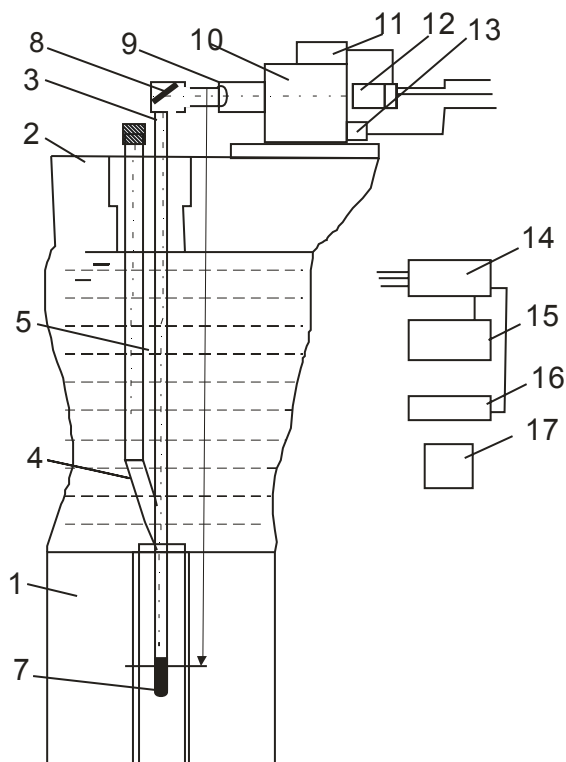


Рис. 1. Схема измерения оптических характеристик плазмы на реакторе ВВР-К: 1 – активная зона реактора; 2 – крышка реактора; 3 – диагностический канал; 4 – поворотное колено; 5 – транспортная труба; 6 – труба-световод; 7 – коническое гнездо; 8 – поворотное зеркало; 9 – объектив; 10 – МДР-2; 11 – ТЭС-88; 12 – ФЭУ-79; 13 – реверсивный двигатель РД-09; 14 – пульт управления; 15 – ВС-22; 16 – анализатор; 17 – самопишущий потенциометр

В настоящей работе измерены абсолютные спектры плазмы исследуемых смесей. Суть проведенных экспериментов заключается в следующем. Если имеется эталонный источник света, такой является вольфрамовая лампа СИРШ–8.5-200.1, которая заранее откалибрована в энергетических единицах в заданном диапазоне видимого излучения. До начала реакторных экспериментов сам диагностический канал калибруется в энергетических единицах и показания анализатора счета фотонов привязываются к энергетической шкале. Измеряя интенсивность испускаемых фотонов, напрямую можно подсчитать концентрацию возбужденных состояний и оценить коэффициент преобразования ядерной энергии в световую для каждого конкретного перехода. Именно абсолютные спектры позволяют исследовать преобразование ядерной энергии в световую и находить коэффициент преобразования населенности уровней, потоки заселения и опустошения различных состояний (в т.ч. ионизационные и рекомбинационные потоки).

В таблице 1 приведены значения измеренных яркостей линий, а также заселенности уровней.

Таблица 1 - Значения измеренных яркостей линий и заселенности уровней в гелиевой плазме

	λ , Нм	Вероятность перехода, 10^7 c^{-1}	I_λ , $10^{-7} \text{ Вт/см}^{-3}$ –35%	Заселенность верхнего и нижнего уровней	
				10^6 см^{-3}	10^7 см^{-3}
$2^1\text{P}-3^1\text{s}$	728.1	1.9	37	0.71	0.88
$2^1\text{P}-3^1\text{s}$	706.5	2.8	206	2.63	0.53
$2^1\text{P}-3^1\text{s}$	667.8	6.6	50.4	0.26	0.88
$2^1\text{P}-3^1\text{s}$	587.6	7.2	27.5	0.11	0.53
$2^1\text{P}-3^1\text{s}$	501.6	1.35	18.3	0.34	500

Типичная спектрограмма излучения плазмы в диапазоне длин волн 400-800 нм показана на рис.2.

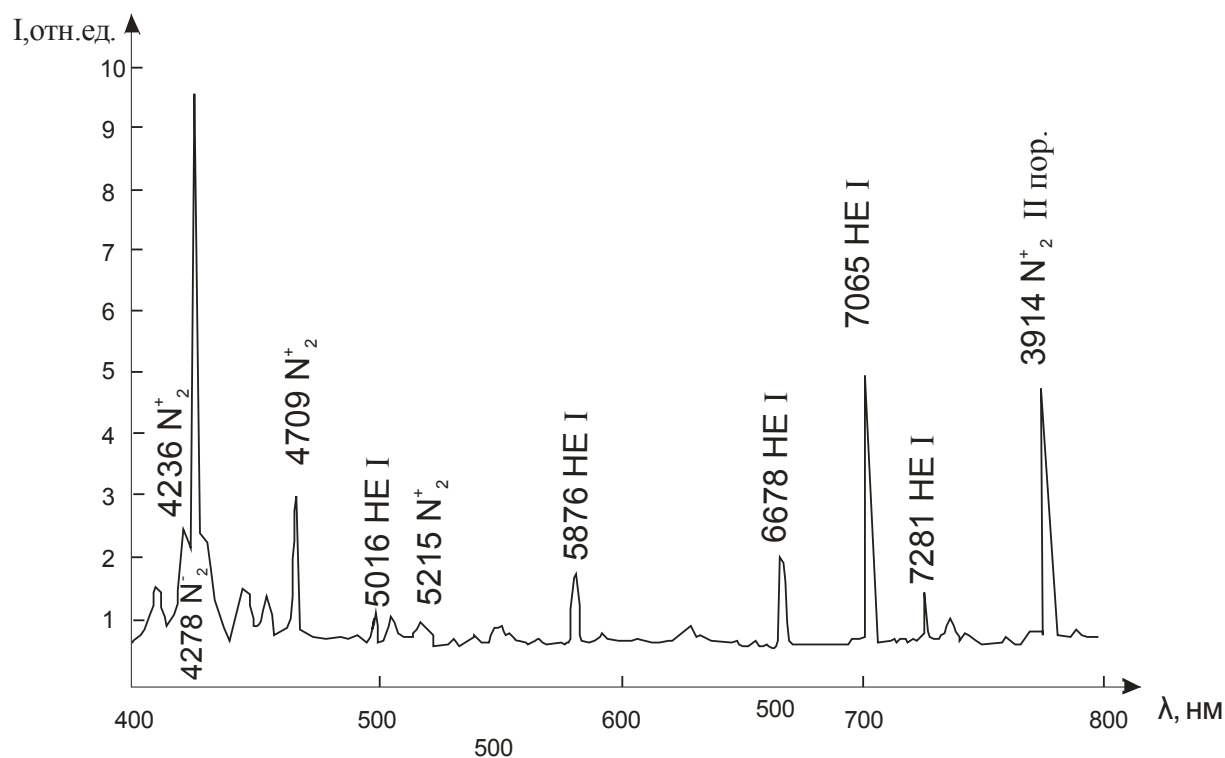


Рис.2. Спектрограмма излучения плазмы ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$ при давлении 57 кПа, содержащей примесь азота $2.5 \cdot 10^{-4}\%$ при облучении нейтронным потоком $\Phi=1.10^{14}$ н/см²с

В таблице 1 представлены данные экспериментов по измерению абсолютных населенностей возбужденных атомов $\text{He}^*(n=3)$ при давлении 0.57 МПа и плотностях потока тепловых нейтронов $\Phi=1.10^{13}$ - 1.10^{14} тепл. нейтр. см-2с-1, а также длин волн наблюдаемых линий и вероятности переходов.

Автор, как правило, ограничивается отдельными измерениями интенсивности излучения ядерно-возбуждаемой плазмы в целях поиска новых лазерных сред. Таким образом для детального исследования элементарных процессов, имеющих место в ядерно-возбуждаемой плазме, применение методов абсолютных спектральных измерений, является необходимым, поскольку только измерение абсолютных яркостей линии и показателей поглощения может дать достоверную информацию о распределении заселенности различных состояний. Кроме того, такие измерения позволят провести количественный анализ эффективности преобразования ядерной энергии в световую газовыми смесями, представляющими интерес в качестве активных сред источников оптического излучения.

Литература

1. Гудзенко Л.И., Яковленко С.И. Плазменные лазеры. - Москва: Атомиздат, 1978. - 256 с.
2. Андрияхин В.М. Лазеры на электронно-колебательных переходах молекул HgX^* // Письма в ЖТФ-1970.-Vol.12, №2.Р.82-83.
3. Ильяшенко В.С., Миськевич А.И., Саламаха Б.С. Регистрация спектров оптического излучения гелиевой плазмы в режиме счета отдельных фотонов// Оптика и спектроскопия-1979.-Vol.63,№1.-С.45-47.
4. Миськевич А.И. Оптические спектры гелиевой плазмы.- Письма в ЖТФ-1980.-Т. 6.- №13.-С.8-9.

5. Davis R.N., Davis J.F., Sohneider R.T. Nuclear pumping lasers, induced by pulsed reactors // Trans. Amer. Nucl. Soc. - 1976. - Vol. 23. - P. 520-523.
6. De Young P.J., Weaver W.R. Optical Spectra of the nuclear induced HgBr* plasma // J. Opt. Soc. Amer. - 1980. - Vol. 70. - №5. - С. 500-503.
7. Фриш С. Э. Оптические методы измерений. – Москва: Наука, 1969. - 234с.

$^3\text{He}(n,p)\text{T}$ ПЛАЗМАНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУІНІҢ СПЕКТРЛІК СЫЗЫҒЫНЫҢ АБСОЛЮТТИ ИНТЕНСИВТІЛІГІН ӨЛШЕУ

С.К. Қонақов

Мақалада ВВР-К стационарлық ядролық реакторының белсенді аумағында пайда болған гелий плазмасының абсолютты спектрлерінің эксперименттік өлшеулері келтірілген. Эксперименттік құрылғы ашыл жазылған және эксперимент нәтижелері талқыланған.

HELIUM ABSOLUTE SPECTRA MEASUREMENT IN THE NUCLEAR INDUCED PLASMA

S.K. Kunakov

The experimental set and absolute spectra measurement are presented in the paper. Experimental results are presented and discussed. The methodological issues of the experiment are analyzed in details.