

---

## О МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ СПЕКТРОСКОПИИ НА ОСНОВЕ ЭМИССИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Силькис Э.Г.([silkis@isan.troitsk.ru](mailto:silkis@isan.troitsk.ru)), Терашкевич И.М.([Terashkevich.I.M@mail.ru](mailto:Terashkevich.I.M@mail.ru)),  
Сергиенко Д.И.([dsint120@gmail.com](mailto:dsint120@gmail.com))

*Институт спектроскопии РАН, г.Троицк, ООО «Многоканальные оптические регистрирующие системы»; г.Троицк, ООО «Электротера» г.Зеленоград,  
НОУ ДПО «Институт Новых Технологий», г.Москва.*

### Аннотация

В статье рассматривается лабораторный практикум по обучению на основе эмиссионного спектрометра с источником типа «водяная плазма» (школьный вариант) для обучения некоторым аспектам современной спектроскопии.

Методами спектроскопии пользуются физики и биологи, астрономы и криминалисты, они применяются в медицине, металлургии и геологии, микроэлектронике и в других высокотехнологичных направлениях науки и производства. Важную роль спектроскопии можно подтвердить следующим: в городе Троицке уже 50 лет работает Институт спектроскопии РАН, один из ведущих физических институтов страны; в СССР в семинарах Комиссии по спектроскопии участвовали сотрудники 3000 спектроскопических лабораторий; соавтор этого доклада участвовал в создании (с 1989 г. по 2019 г.) более 1300 систем регистрации спектров и эмиссионных спектрометров для спектральных лабораторий России [1]. Например, одним из таких спектрометров является анализатор водорода в титановых сплавах, применяющийся в авиа-, судо- и ракетостроении, а также описанный ниже спектрометр для анализа примесей около 40 элементов в водных растворах.

Процесс обучения и наглядной демонстрации законов физики и химии, изучаемыми школьниками в рамках программы общеобразовательных учреждений возможен, на наш взгляд, с помощью спектрометра для анализа воды с генератором плазмы на основе парожидкостного плазмотрона. Возможности этого спектрометра позволяют исследовать элементный состав водных растворов и их идентификацию, а также наглядно демонстрировать школьникам основы спектрального анализа применительно к контролю состава питьевой воды, состава воды в водоёмах, а также в школьном водопроводе.

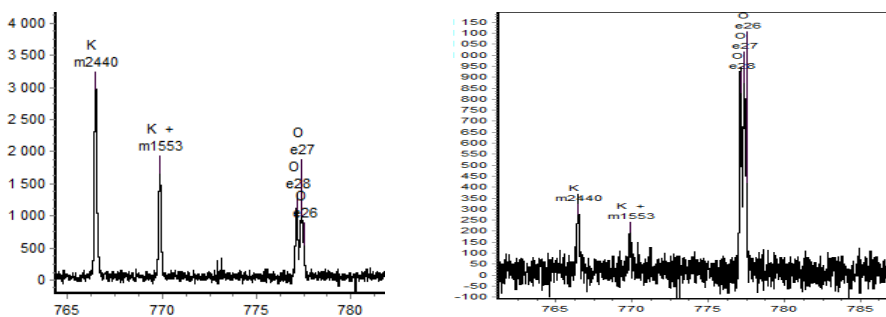
Схема работы такого демонстрационного стенда (ДС «Сильтера») позволяет школьникам понять взаимосвязь элементов стенда и осознать пути получения и обработки информации из различных физических процессов: испарения, генерации плазмы из пара, излучение плазмы, преобразование светового сигнала в цифровой код. Излагаются основные параметры спектрометров: диапазон измеряемых концентраций, перечень регистрируемых элементов, чувствительность, методы пробоподготовки.

Школьникам мультимедийными средствами могут быть показаны примеры зарегистрированных спектров с использованием дс «Сильтера», показан учебный фильм о работе стенда. ДС «Сильтера» может быть продемонстрирован в действии на образцах воды с различным содержанием таких элементов как Na, K и др.

При наличии в мультимедийном классе ряда компьютеров – в них могут быть установлены рабочие эмиссионные программы и транслированы спектры воды, измеренные на широкодиапазонном спектрометре Института спектроскопии РАН с парожидкостным источником возбуждения спектров. Школьники смогут выполнить ряд простейших операций: просмотр контура отдельных линий, вызов линий базы элементов для идентификации линий. В спектре воды ими могут быть найдены линии H и атомарного O. В качестве примера на Рис.1 приведен участок спектра с линиями K и O.

Принципы работы основных компонентов ДС «Сильтера»

\*Парожидкостной плазмотрон. Вода из заправочной ёмкости по капиллярам влаговпитывающего материала поступает на испаритель, контактирующий с соплом плазмотрона. Внутри испарителя расположен катод, закреплённый на катододержателе, который имеет возможность перемещения в сторону сопла плазмотрона и обратно.



а) концентрация К порядка 100 ppm

б) концентрация К порядка 10 ppm

**Рис.1. Линии К и триплета О в области 765-780 нм полученные на широкодиапазонном спектрометре ИСАН (200-960 нм, система регистрации на 24 –х линейных ПЗС**

Перед возбуждением дугового разряда на катод, имеющий вставку из гафния, имеющего высокую термоэмиссию электронов, подаётся постоянное напряжение. Затем катод, под воздействием пусковой кнопки, перемещается в сторону сопла и отводится в исходное положение под возвратным воздействием пружин.

В результате контакта катода с соплом происходит разогрев катода, сопла и испарителя. В результате совокупности этих взаимодействий возникает дуга из электронов в среде водяного пара, которая сжимается под воздействием давления перегретого пара, перемещающегося в направлении сопла и ионизирующегося под воздействием потока электронов.

Система генерации плазменной дуги стабилизируется в автоматическом режиме в течение 1-2 минут, и из сопла плазматрона появляется плазменный поток ионизированных частиц, ранее являвшихся составными частями молекул воды и молекул примесей водного раствора. Поток ионизированных частиц испускает излучение, спектр которого регистрируется спектрометром.

\*Однолинзовый конденсор для проецирования излучения плазмы на щель миниспектрометра. Излагаются и другая схема передачи света (объектив с волоконным жгутом).

\*Оптическая схема мини-спектрографа( схема Эберта). Дается понимание порядков дифракции спектрографа, методы подавления порядков отрезающими фильтрами.

\*Система регистрации спектров и программное обеспечение. Излагается принцип работы основного элемента системы регистрации – линейного ПЗС, расположенного в фокальной плоскости миниспектрометра, и электронная схема управления ПЗС, а также связь с компьютером через вход USB с помощью специализированных контроллеров (FTDI, Cypress). Программное обеспечение позволяет идентифицировать элементы в спектре паро-водяной плазмы.

В учебнике физики 11 класса [2] спектроскопии (постулаты Бора, серия Бальмера) посвящено три страницы, что, на взгляд авторов, недостаточно. Методисты НОУ ДПО «Институт Новых Технологий», ознакомившись с работой ДС «Сильтера», считают, что это эффективный прибор для ознакомления школьников с основами спектроскопии.

#### Литература

1. Силькис Э.Г., Станкевич А.С., Крашениников В.Н. Системы регистрации спектров, миниспектрометры и эмиссионные спектрометры // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Вузовско-академический сб. научн. трудов. Вып. 33. Екатеринбург: УрФУ, 2014. С. 43-67.
2. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.В., Чаругин В.М. Физика, 11 класс, Учебник для общеобразовательных учреждений, Москва, «Просвещение», 2010, 399 с.