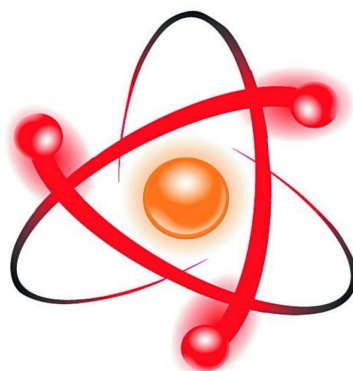


МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



## **СТЕНД ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ**

**МОДЕЛЬ СПЕКТРОМЕТРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД НА БАЗЕ  
ВСТРОЕННОЙ МИКРООПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
TSD**

**ФКЛ-24**

**ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ**

2018 г.

## СТЕНД ЛАБОРАТОРНЫЙ. МОДЕЛЬ СПЕКТРОМЕТРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ. ФКЛ-24

Цель работы: ознакомление с принципами работы спектрометра высокого разрешения и получение спектров высокого разрешения. С помощью полученных спектров изучить тонкую структуры энергетических уровней атома натрия на примере желтого дублета, вычислить экспериментально постоянную тонкой структуры  $\alpha$ . Осуществить наблюдение и идентификацию спектров спонтанного излучения, возбуждаемого электрическим разрядом в парах водорода при низком давлении; измерение длин волн линий серии Бальмера и определение постоянной Ридберга; измерение изотопического сдвига линий спектров водорода и дейтерия. Ознакомиться с теоретическими основами эффекта Зеемана, провести исследование расщепления спектральных линий в магнитном поле, определить с помощью спектрограмм величину удельного заряда электрона.

### ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ.

Стенд учебный лабораторный «МОДЕЛЬ СПЕКТРОМЕТРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ» предназначен для постановки серии лабораторных и демонстрационных экспериментов по соответствующим разделам квантовой и атомной физики. Лабораторная установка является моделью спектрометра высокого разрешения, предназначенного для воспроизведения серии измерений по исследованию спектров металлов, инертных газов (водорода), изучению изотопического сдвига, эффекта Зеемана и других лабораторных работ по курсу квантовой оптики. Учебный лабораторный комплекс представляет собой действующую модель, функционально не отличающуюся от своего базового научного прототипа. Конструктивно стенд состоит из двух модулей: ОСВЕТИТЕЛЯ, содержащего спектральные лампы и БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ, формирующего необходимые напряжения для питания ламп и генерирующего изображение на VGA выходе прибора для его подачи на монитор.

Электрическая модель спектрометра выполнена на базе микропроцессоров 8/32 бит серии AVR, STM либо аналогичных. Спектрограммы излучения высокого и сверхвысокого разрешения, полученные на научных исследовательских установках, помещены в базу данных микропроцессора учебной модели и воспроизводятся на стенде в зависимости от выбранного типа эксперимента. Прибор работает под управлением операционной системы TSD на базе однокристального микропроцессора. Вывод результатов измерений осуществляется на экран по интерфейсу VGA (стандартный монитор ПК).

Стенд в базовой конфигурации позволяет выполнять следующую серию экспериментов:

**1) ОПЫТ — 1. «Атом в магнитном поле. Исследование эффекта**

### **Зеемана на примере атома ртути».**

В данном эксперименте зеемановское расщепление изучается на спектральных линиях атомов ртути. В спектрах этих атомов имеется система синглетных и триплетных линий, что позволяет с одним источником изучать как простой эффект, так и сложный эффект Зеемана. Источник света ртутная газоразрядная лампа ДРСк-125 помещается между полюсами электромагнитов, пропускание тока через которые в импульсном режиме дает некоторое магнитное поле в зазоре между ними. Работа оптической части заменяется моделью фотоприемника, максимальная чувствительность которого изменяется в зависимости от подачи на него различного напряжения смещения, что позволяет развернуть spectroграмму по длине волны и получить зависимость интенсивности спектральной линии  $I$  от длины волны  $\lambda$ :  $I=I(\lambda)$ . Напряжение на фотоприемнике уже проградуировано в длинах волн.

### **2) ОПЫТ — 2.1 «Изотопический сдвиг в спектрах атома водорода и дейтерия».**

Источник света в данном эксперименте — водородно-дейтериевая газоразрядная лампа ДВС-25 либо водородно-дейтериевая спектральная трубка типа ТСУ-Н, в которой, кроме водорода, присутствует некоторое количество дейтерия в виде примеси.

Разряд в лампе возникает при столкновении ускоренных электронов с молекулами  $H_2$  или  $D_2$ . Образующиеся при этом электроны и ионы поддерживают разряд. Кроме областей непрерывного спектра, при рекомбинации наблюдаются также спектральные линии, соответствующие обычному эмиссионному спектру атомов и молекул водорода и дейтерия. Возбуждение их происходит главным образом за счет электронных ударов. Кроме этого, для облегчения зажигания лампы, внутрь трубки введено небольшое количество примеси неона. Если давление водорода и дейтерия в трубке достаточно, то в спектре свечения на фоне молекулярного спектра  $H_2$  появятся яркие линии атомов водорода и дейтерия. Питание анода лампы ДВС-25 осуществляется от специального источника питания с регулировкой тока анода в диапазоне до 320 мА. В цепь катода (накала) лампы ДВС-25 подаётся ток от регулируемого источника тока в диапазоне 0 — 2,5 А. После зажигания разряда между катодом и анодом, ток накала снижается до нуля. В случае нестабильного разряда, можно увеличить ток накала до 1 Ампера, при этом поддерживая ток анода в диапазоне 250 — 300 мА. Ток анода во время работы лампы не должен превышать 300 мА. Ток анода является током разряда в водородно-дейтериевой смеси, наполняющей лампу.

Питание спектральной трубки типа ТСУ-Н осуществляется от специального высоковольтного источника питания. Принцип работы источника питания основан на преобразовании переменного напряжения питающей сети в высокочастотное ( $\sim 30$  кГц) высокое напряжения порядка 10 киловольт, необходимое для зажигания трубки и использовании электронного балласта и

стабилизационной микросхемы для контроля и стабилизации тока.

Работа оптической части (прибора с высокой разрешающей силой) заменяется моделью фотоприемника, максимальная чувствительность которого условно изменяется в зависимости от подачи на него различного напряжения смещения, что позволяет развернуть спектрограмму по длине волны и получить зависимость интенсивности спектральной линии  $I$  от длины волны  $\lambda$ :  $I=I(\lambda)$ . Напряжение на фотоприемнике уже проградуировано в длинах волн.

**3) ОПЫТ — 3 «Исследование тонкой структуры энергетических уровней атома натрия».** Источник света в данном эксперименте — натриевая спектральная лампа типа ДнаС-18, в которой помимо натрия для облегчения зажигания введена смесь инертных газов (ксенон-аргоновая буферная смесь). Лампа имеет колбу из стекла СЛ 97-1, внутри которой находится трубка из натриестойкого стекла — излучатель, который наполнен строго дозированным количеством металлического натрия и аргона. Дуговой разряд происходит в парах натрия. Лампа является источником, излучающим желтый свет в диапазоне спектра с длинами волн 589 и 589,6 нм и применяется в спектроскопии, рефрактометрии, поляриметрии, химии, светотехнике, а также в медицинской технике и лабораторном оборудовании. Работа оптической части (прибора с высокой разрешающей силой) заменяется моделью фотоприемника, максимальная чувствительность которого условно изменяется в зависимости от подачи на него различного напряжения смещения, что позволяет развернуть спектрограмму по длине волны и получить зависимость интенсивности спектральной линии  $I$  от длины волны  $\lambda$ :  $I=I(\lambda)$ . Напряжение на фотоприемнике уже проградуировано в длинах волн.

**Излучение от спектральных ламп, используемых в учебном стенде, может быть подано на реальные спектрометрические приборы, для этого в конструкции осветителя предусмотрены специальные окошки для его выхода**

Подробная методика выполнения лабораторных работ для каждого модуля приведена в соответствующих частях методического руководства.

### **Программная часть. МикроЭВМ «TSD».**

В учебной установке применяется однокристалльная микроЭВМ с собственной оригинальной архитектурой TSD на базе микропроцессора STM32 Cortex M3, работающая под управлением Операционной Системы "Красная Звезда" («Red Star»). Операционная система была специально разработана для данной конкретной реализации данной микроЭВМ. Ядро TSD8 встраивается в учебный прибор, что позволяет учебному прибору успешно работать с периферией. В данной реализации вывод информации и измеренные значения параметров выводятся на стандартный монитор стандарта VGA, подключаемый к выводу VGA учебной установки.

VGA (англ. Video Graphics Array)— компонентный видеоинтерфейс, используемый в мониторах и видеоадаптерах. Выпущен IBM в 1987 году для компьютеров PS/2 Model 50 и более старших. VGA являлся последним стандартом, которому следовало большинство производителей видеоадаптеров.

Видеоадаптер VGA, в отличие от предыдущих видеоадаптеров IBM (MDA, CGA, EGA), использует аналоговый сигнал для передачи цветовой информации. Переход на аналоговый сигнал был обусловлен необходимостью сокращения числа проводов в кабеле. Также аналоговый сигнал давал возможность использовать VGA-мониторы с последующими видеоадаптерами, которые могут выводить большее количество цветов.

Официальным последователем VGA стал стандарт IBM XGA, фактически же он был замещен различными расширениями к VGA, известными как «Super VGA» (SVGA).

Термин VGA также часто используется для обозначения разрешения 640×480 независимо от аппаратного обеспечения для вывода изображения, хотя это не совсем верно (так, режим 640×480 с 16-, 24- и 32-битной глубиной цвета не поддерживаются адаптерами VGA, но могут быть сформированы на мониторе, предназначенном для работы с адаптером VGA, при помощи SVGA-адаптеров). Также этот термин используется для обозначения 15-контактного разъёма VGA для передачи аналоговых видеосигналов при различных разрешениях.

### Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Все работы по подключению осветителя и монитора к БЛОКУ УПРАВЛЕНИЯ следует выполнять только при отключенных от сети приборах. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора.
2. Подключить осветитель к блоку управления, используя соответствующие провода из комплекта, соединив выходы «ЛАМПА» с соответствующими входами осветителя.
3. Подключить стандартный монитор, имеющий VGA вход к выходу «МОНИТОР VGA» учебной установки.
4. Включить учебную установку и монитор в сеть  $\sim 220$  В с помощью прилагаемых силовых сетевых кабелей евро-стандарта. Поставить переключатель «СЕТЬ. АНАЛОГОВАЯ ЧАСТЬ» на панели учебного модуля и монитора в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный индикатор «СЕТЬ».
5. Установить переключатель «ЛАМПА», включающий в схему ту или иную лампу, в положение «Ртутная» и приступить к исследованию эффекта Зеемана. При этом в ртутной спектральной лампе должен начаться дуговой разряд. Время разгорания лампы 5 — 10 минут.
6. Запустить встроенную микрооперационную систему, поставив переключатель/кнопку «СЕТЬ ЦИФРОВАЯ ЧАСТЬ VGA» в положение «ВКЛ».
7. Через несколько секунд произойдет загрузка встроенной в учебный прибор операционной системы и на экране монитора должно появиться изображение с информацией об эксперименте.
8. Выбор эксперимента Аномальный/Нормальный эффект Зеемана осуществляется кнопкой «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР».
9. Величина магнитного поля в зазоре ртутной трубки выбирается кнопкой РЕЖИМ РАБОТЫ. ПОЛЕ».
10. Для начала набора спектра следует нажать кнопку «АВТОСКАН». Во время сканирования спектра на экране в специальном окне визуализируется получаемый спектр. После сканирования значения напряжения с выхода фотодатчика и показания длины волны перестают изменяться (достигнуто максимально возможное значение для данного опыта) и кнопка АВТОСКАН должна быть отжата.

11. Внизу оси  $Ox$  (оси длин волн

$\lambda$ ) непрерывно генерируется специальная метка (рис. 1.1).

С помощью метки, показаний фотодатчика  $U$  и указателя длины волны  $L = \lambda$  на экране монитора можно получить спектральную характеристику излучения  $U = U(\lambda)$ , определить положения центра пиков и их полуширины (ширину на половине высоты). Метка

позволяет сопоставить координаты

данной точки спектральной характеристики со значениями длины волны  $\lambda$  и напряжения на выходе фотодатчика  $U$ , мысленно построив перпендикуляры от «метки» до осей координат, и, таким образом, снять спектральную характеристику по точкам (рис. 1.1).

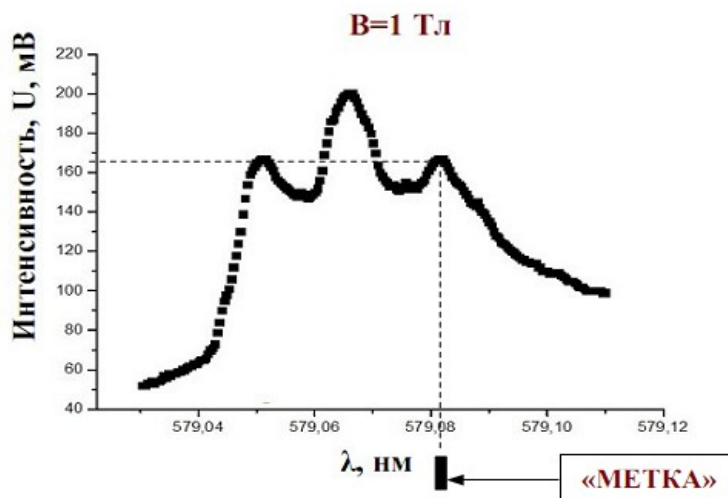


Рис. 1.1

12. Перемещение метки по оси  $Ox$  (оси длин волн  $\lambda$ ) а также сканирование спектра в ручном режиме осуществляется нажатиями кнопок «ДЛИНА ВОЛНЫ».

13. Провести необходимые расчеты согласно методическому руководству для данной части лабораторной работы.

14. Поставить переключатель «ЛАМПА» в положение «ВОДОРОДНАЯ Н» и приступить к исследованию изотопического сдвига. Если в работе операционной системы произошел сбой вследствие помех, сопровождающих включения ламп, то перезапустить систему, выключив и включив питание кнопкой «СЕТЬ. АНАЛОГОВАЯ ЧАСТЬ VGA».

15. После загрузки операционной системы, подать высокое напряжение на водородную трубку. Для этого, медленно вращая ручку «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ» по часовой стрелке, добиться возникновения устойчивого разряда в трубке (обычно напряжение устойчивого разряда составляет 5 — 6 кВ). Напряжение, подаваемое на трубку, следует отрегулировать таким образом, чтобы происходил устойчивый разряд, и наблюдалась приемлемая яркость свечения. Запрещается перекручивать ручку «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ», так как при подачи на трубку чрезмерного напряжения, возможен выход её из строя. **При включении трубки, особенно с течением времени после интенсивного использования, возможна задержка в развитии ВЧ разряда в газе, поэтому если трубка не засветилась сразу, ручку регулировки высокого напряжения реко-**

мендуется поставить в максимальное положение, вращая её по часовой стрелке, и ожидать развития разряда в течение  $\sim 1$  минуты, после чего сразу убавить напряжение, поступающее на трубку, до значения, обеспечивающее устойчивое свечение и приемлемую яркость излучения.

16. Показания напряжения, подаваемого на спектральную трубку отображаются на VGA мониторе.
17. В данном эксперименте прибор может работать в нескольких режимах, переключаемых кнопкой «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР»: 1) Снятие спектральной характеристики водородно-дейтериевой трубки низкого разрешения 1 нм «РЕЖИМ НИЗКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ». При этом по нажатию кнопок «ДЛИНА ВОЛНЫ» либо «АВТОСКАН» осуществляется сканирование спектра с разрешением 1 нм в видимой области 400 — 700 нм. 2) Исследование изотопической структуры спектральной альфа-линии водородной-дейтериевой трубки «РЕЖИМ АЛЬФА». При этом по нажатию кнопок «ДЛИНА ВОЛНЫ» либо «АВТОСКАН» осуществляется сканирование спектра с разрешением 0,01 нм в диапазоне 655,70 — 656,69 нм. 3) Исследование изотопической структуры спектральной бета-линии водородной-дейтериевой лампы «РЕЖИМ БЕТА». При этом по нажатию кнопок «ДЛИНА ВОЛНЫ» либо «АВТОСКАН» осуществляется сканирование спектра с разрешением 0,01 нм в диапазоне 485,57 — 486,57 нм. 4) Исследование изотопической структуры спектральной гамма-линии водородной-дейтериевой лампы «РЕЖИМ ГАММА». При этом по нажатию кнопок «ДЛИНА ВОЛНЫ» либо «АВТОСКАН» осуществляется сканирование спектра с разрешением 0,01 нм в диапазоне 433,49 — 434,49 нм.
18. Исследовать спектр водородной-дейтериевой трубки в различных режимах, получить изотопическое смещение спектральных линий и обработать его согласно методическому руководству для данной части лабораторной работы.
19. Поставить переключатель «ЛАМПА» в положение «НАТРИЕВАЯ Na» и приступить к исследованию тонкой структуры спектральной линии атома натрия. Если в работе операционной системы произошел сбой вследствие помех, сопровождающих включения ламп, то перезапустить систему, выключив и включив питание кнопкой «СЕТЬ. АНАЛОГОВАЯ ЧАСТЬ VGA».
20. Произвести набор спектра натрия в режиме высокого разрешения и получить дублет натрия. Для этого следует нажать кнопку «АВТОСКАН». Во время сканирования спектра на экране в специальном окне визуализируется получаемый спектр. **После сканирования значения напряжения с**



**выхода фотодатчика и показания длины волны перестают изменяться (достигнуто максимально возможное значение для данного опыта) и кнопка АВТОСКАН должна быть отжата.**

21. Определить координаты центра пиков в дублете и обработать данные согласно методическому руководству для данной части лабораторной работы.
22. По окончании работы отключить учебную установку и монитор от сети, поставив переключатели «СЕТЬ» на панели установки и монитора в положение «ВЫКЛ» и вынуть сетевые вилки из розеток.