

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ АТОМА НАТРИЯ¹.

1. Экспериментальная установка.

Исследование тонкой структуры ряда спектральных линий атома натрия осуществляется на установке, общий вид которой изображен на рис. 8.

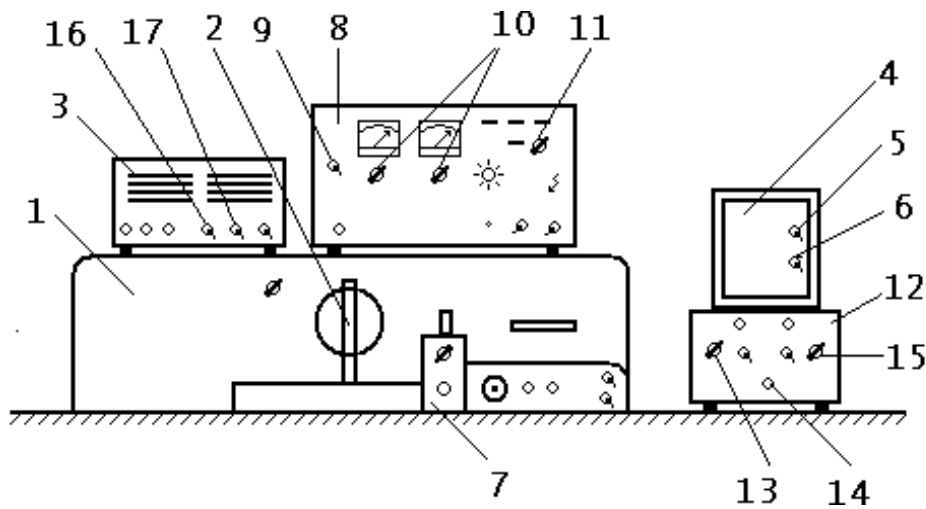


Рис. 8. Общий вид установки: 1-двойной монохроматор ДФС-12; 2-натриевая лампа ДНас18; 3-блок питания натриевой лампы; 4-автоматический потенциометр КСП-4 (самописец); 5,6-тумблеры включения самописца; 7-блок ФЭУ; 8-блок питания ФЭУ (высоковольтный выпрямитель Б5-24А); 9-тумблер включения выпрямителя Б5-24А; 10-потенциометры установки величины выходного напряжения; 11-тумблер включения высокого напряжения; 12-блок питания самописца; 13-потенциометр установки нуля самописца; 14-тумблер включения блока питания самописца; 15-потенциометр, регулирующий коэффициент усиления ФЭУ; 16-тумблер включения блока питания натриевой лампы; 17-тумблер включения натриевой лампы.

Натриевая лампа. Источником исследуемого спектра служит натриевая лампа ДНас-18, представляющая собой стеклянную трубку, в которой разряд происходит в парах натрия. Электроны, ускоренные электрическим полем разряда, при неупругих столкновениях с атомами натрия передают им свою энергию. При этом внутренняя энергия атома возрастает – его оптический электрон переходит из основного состояния в возбужденное (т.е. на какой-либо вышерасположенный энергетический уровень). В возбужденном состоянии атом находится 10^{-7} – 10^{-8} с. Затем оптический электрон с верхнего уровня переходит либо прямо в основное состояние (если это не запрещено правилами отбора), либо на какой-нибудь нижерасположенный уровень, а уже с него в основное (самое глубокое) состояние. При этих переходах электрона разность его энергий на различных уровнях будет излучаться в виде фотонов той или иной длины волны. Так возникает эмиссионный линейчатый спектр в натриевой лампе. Натриевая лампа 2 заключена в охранный металлический кожух и при помощи держателя устанавливается на оптической скамье перед входной щелью ДФС-12. Источником питания натриевой лампы служит блок 3, который включается в сеть тумблером 16. Натриевая лампа включается с помощью тумблера 17.

Двойной монохроматор ДФС-12. Для исследования тонкой структуры спектральных линий атома натрия в лабораторной работе используется двойной монохроматор типа ДФС-12. Его оптическая схема приведена на рис.9.

Свет от натриевой лампы 1 (см.рис.9) через регулируемую входную щель 2 попадает на плоское поворотное зеркало 3. От него отраженный луч попадает на зеркальный параболический объектив 4, причем в его фокусе находится щель 2. От объектива

4 параллельный пучок света направляется на отражательную дифракционную решетку 5.

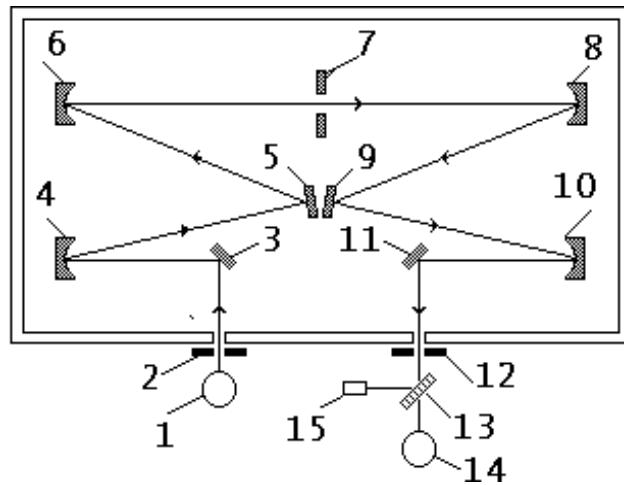


Рис.9. Оптическая схема двойного монохроматора ДФС-12.

Отраженный от решетки 5 свет собирается зеркальным параболическим объективом 6 и направляется на щель 7, которая находится в его фокусе. Пройдя щель 7, монохроматический пучок попадает на параболический объектив 8, а от него на дифракционную решетку 9. Далее отраженный от решетки 9 свет собирается параболическим зеркальным объективом 10 и направляется на поворотное зеркало 11 и на регулируемую выходную щель 12. Проекционная система 13 направляет световой поток на фотоумножитель 14. Кроме того, выходящий монохроматический луч можно наблюдать через микроскоп 15.

Фотоэлектронный умножитель – линейный прибор, т.е. амплитуда сигнала с ФЭУ пропорциональна интенсивности светового потока. Однако, когда интенсивность светового потока велика, линейность может нарушаться из-за искажения поля пространственным зарядом в области анода и последних эмиттеров ФЭУ. Для питания ФЭУ

используется высоковольтный выпрямитель Б5-24А (блок питания 8, рис.8). Сигнал с ФЭУ подается на автоматический потенциометр КСП-4 (самописец 4) для записи спектра и последующей ее обработки.

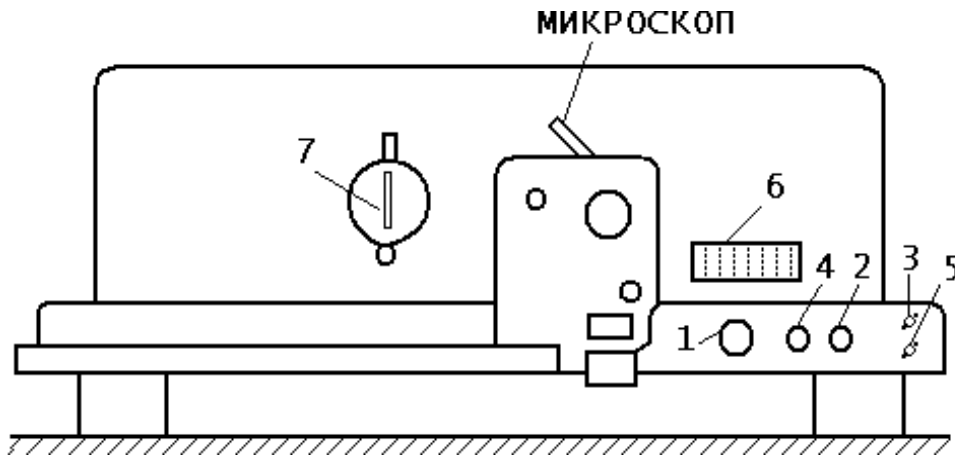


Рис.10. Общий вид двойного монохроматора ДФС-12. 1-рукоятка поворота вручную дифракционных решеток; 2-переключатель скоростей вращения столика с дифракционными решетками; 3-тумблер пуска электродвигателя; 4-тумблер переключения режима вращения (вручную, электродвигателем) столика с решетками; 5-тумблер изменения направления вращения решеток; 6-шкала длин волн; 7-входная щель ДФС-12. 8-фотоэлектронная приставка с выходной щелью и микроскопом.

Обе дифракционные решетки 5 и 9 (см. рис. 9) монтируются на одной подставке и поворачиваются одним электродвигателем. Электродвигатель соединен с решетками через коробку передач, которая позволяет получить восемь различных скоростей вращения решеток. Кроме того, при помощи специального дифференциального устройства можно вращать дифракционные решетки вручную рукояткой 1 (см.рис.10). Скорость вращения столика с решетками

устанавливается переключателем 2. Решетки будут вращаться с максимальной скоростью, если переключатель 2 установить на отметку "8" 2.

Рекомендуется запись различных участков спектра натриевой лампы проводить при максимальной скорости вращения решеток. Пуск электродвигателя, вращающего решетки, осуществляется тумблером 3. Однако для того, чтобы решетки начали поворачиваться, необходимо зафиксировать рукоятку 1. При этом столик, на котором крепятся решетки, соединится с коробкой передач.

Внимание! Скорость вращения решеток (переключатель 2) устанавливается только при ВЫКЛЮЧЕННОМ электродвигателе (тумблер 3 выключен) и только при отключенном механизме поворота решеток (рукоятка 1).

Направление вращения решеток (прямое или обратное) задается тумблером 5 до момента пуска двигателя.

ДФС-12-спектральный прибор достаточно высокого разрешения. Поэтому даже при максимальной скорости вращения решеток запись широкого участка спектра требует значительного времени. При записи узких участков спектра решетки до начала опыта устанавливаются в требуемое положение. Для этого при выключенных тумблерах 3, 4 вручную с помощью шкива 1 поворачивают решетки на нужный угол, который контролируется по шкале 6 указателя длины волны света, попадающего от решетки на выходную щель ДФС-12 и, следовательно, на ФЭУ. Затем, включив тумблеры 3, 4 и следя за шкалой длин волн 6, записывают нужный участок спектра.

Для записи спектра используется автоматический потенциометр 4 (рис.8) типа КСП-4, нуль которого устанавливается при помощи потенциометра 13 блока

²Переключатель 2 можно установить в восемь различных положений. Скорость вращения решеток увеличивается с изменением положения переключателя от отметки "1" до "8". питания 12 (рис.8). На передней панели блока питания расположен тумблер 14 (рис.8), с помощью которого самописец включается в сеть. Высоковольтное напряжение на ФЭУ подается после включения тумблеров 9 и 11 (рис.8). В окне самописца непосредственно у бумажной ленты справа расположены тумблер 5 включения механизма протяжки бумажной ленты и тумблер 6, после включения которого сигнал ФЭУ поступает в блок управления работой пера самописца. Величина (усиление) сигнала ФЭУ регулируется потенциометром 15.

2. Задание.

1. До начала работы в лаборатории рассчитать уровни энергии атома натрия при помощи соотношения (см. (В.1))

$$E_{nl} = - \frac{Ry}{(n - \Delta_l)^2} .$$

и данных таблицы 1 (см. Введение п.1), а также (см. формулу (В.3)) длины волн, возникающие при переходах:

резкой серии	$3p \rightarrow 5s$ $3p \rightarrow 6s$
диффузной серии	$3p \rightarrow 4d$ $3p \rightarrow 5d$
главной серии	$3s \rightarrow 3p$.

Определить число компонент тонкой структуры каждой из указанных линий.

2. Записать тонкую структуру спектральных линий, возникающих при указанных в п.1 переходах при помощи ДФС-12 и самописца.

3. Определить величину расщепления уровней натрия при помощи полученных спектрограмм. Установить, какими уровнями (p, d) определяется это расщепление.

4. Определить поправку внутреннего экранирования a_1 для атома Na , зная величину расщепления $3p$ уровня натрия и используя соотношение (см. также формулу (В.28)):

$$\Delta E_{j_1, j_2} = \frac{\alpha^2 Ry (Z - a_1)^4}{n^3 l (l+1)}.$$

Сравнить ее с величиной поправки a , вычисленной по формуле (см. (В.8))

$$a = Z - \frac{n}{n - \Delta_l},$$

используя данные таблицы 1 (см. Введение).

5. Рассчитать по данным таблицы 3, где приведены величины энергий $3p$ -уровней и значения $\Delta E_{j_1, j_2}$ для уровня $3p$, поправки экранирования a изоэлектронного ряда (формула (В.9)), внутренние поправки экранирования a_1 для расщепления уровней

$3p$ (формула (В.28)), а также величины $n_{эфф}$ (формула (В.2)) для щелочноподобных ионов.

Таблица 3.

**Энергии E и мультиплетные расщепления $\Delta E_{j_1, j_2}$
для $3p$ -уровней изоэлектронного ряда.**

	$E, \text{см}^{-1}$ 3^2P	a	$n_{эфф}$	$\Delta E, \text{см}^{-1}$	a_1 $3^2P_{1/2, 3/2}$
NaI	Рассчитанное значение			Эксп. значение	
MgII	85537			91,55	
AlIII	175616			232,5	
SiIV	292500			460,3	
PV	435280			794,6	
SVI	603480			1263,0	
ClVII	797646			1890,0	

3. Порядок выполнения работы.

1. Установить натриевую лампу точно перед входной щелью монохроматора ДФС-12, а затем включить ее. Для чего:

- тумблером 16 включить блок питания 3 натриевой лампы (рис.8)
- затем через 1-2 мин. тумблером 17 включить лампу.

В правильности положения натриевой лампы относительно щели монохроматора можно убедиться при помощи микроскопа (см.рис.10). Для этого при помощи рукоятки 1 (см.рис.10) вручную повернуть дифракционные решетки на такой угол, чтобы вывести на выходную щель наиболее интенсивную линию спектра атома натрия – резонансную линию с

$\lambda = 5890 \text{ \AA}$, что контролируется по шкале 6 (см. рис.10). Затем, слегка перемещая натриевую лампу (по горизонтали и по вертикали) и одновременно наблюдая в микроскоп, добиться равномерной максимальной освещенности входной щели.

2. Включить ФЭУ. Для этого:

- установить при помощи потенциометров 10 (рис.8) величину выходного напряжения на выпрямителе 8, указанную в паспорте лабораторной работы;
- при помощи тумблера 9 включить выпрямитель 8;
- через 2-3 мин. с помощью переключателя 11 подать высокое напряжение на ФЭУ.

3. Убедившись в том, что тумблеры 3 и 4 (см. рис.10) выключены (пуск электродвигателя и переключение режима вращения решеток), включить тумблером 14 блок питания самописца 4 (см. рис.8).

4. Установить переключатель скорости вращения решеток 2 на отметку "8" (см. рис. 10).

ВНИМАНИЕ! Не допускается переключение скоростей при включенном электромоторе и вращающихся решетках, т.е. при включенных тумблерах 3 и 4 (см. рис. 10).

5. Вращая вручную рукоятку 1 (см. рис.10), установить на шкале 6 длину волны (т.е. повернуть решетки) в положение λ_i , где $\lambda_i = \lambda_k \pm 20 \text{ \AA}$ (знак \pm в зависимости от направления вращения решеток), а λ_k одна из длин волн, подлежащих записи.

6. Включить механизм протяжки ленты (тумблер 5) на самописце (рис. 8); подать сигнал с ФЭУ на блок управления пером самописца (тумблер 6).

7. Установить перо самописца вблизи левого края бумажной ленты с помощью потенциометра 13 (рис. 8).

8. При медленном равномерном вращении вручную (рукоятка 1, рис. 10) дифракционных решеток, подбирая для линии 5890 \AA ширины входной и выходной щелей и коэффициент усиления сигнала на самописце (потенциометр 15, рис. 8), добиться хорошего разрешения и оптимальной величины амплитуды сигнала на самописце (сигнал не должен зашкаливать). Следите за тем, чтобы ширины входной и выходной щелей монохроматора были приблизительно равны.

9. Установив подобранные при выполнении п. 8 ширины щелей и коэффициент усиления сигнала на самописце, включить электродвигатель (тумблер 3), механизм вращения решеток (тумблер 4, рис. 10) и записать линии автоматически. Те же самые операции повторить для остальных линий натрия. После записи линий необходимо выключить самописец (тумблеры 5 и 6, рис. 8) и электродвигатель монохроматора (тумблер 3, рис. 10).

10. Если запись окажется неудовлетворительной (не разрешается тонкая структура, нет четкого максимума в профиле линий), то ее следует повторить. Однако при этом необходимо предварительно так отрегулировать ширины входной 2 и выходной 12 щелей ДФС-12 (см. рис. 9), величину сигнала с ФЭУ (потенциометр 15, рис. 8), чтобы четко фиксировалась тонкая структура линии.

11. Отметить на ленте самописца длину волны, отвечающую максимальной величине сигнала. Длину

волны установить по отсчетам со шкалы длин волн λ (рис. 10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. -М.: Наука, 1983, т. II.
2. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику. -М.: Наука, 1988, гл. VI.
3. Матвеев А.Н. Атомная физика. -М.: Высшая школа, 1989.