

8. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа “Спектр поглощения молекулярного йода” выполняется на спектрографе ДФС-8 или ДФС-452.

В описании обозначим:

Установка №1 (в работе используется дифракционный спектрограф ДФС-8);

Установка №2 (в работе используется дифракционный спектрограф ДФС-452)

Установка №1

Установка для исследования спектра поглощения йода состоит из дифракционного спектрографа ДФС-8, кюветы с парами йода и источника света со сплошным спектром (черное тело - нить лампы накаливания). Блок-схема установки изображена на Рис.11. Свет лампы накаливания, коллимированный объективом, проходит через кювету с парами йода и направляется зеркалом на входную щель спектрографа сквозь конденсор.

Длина кюветы обеспечивает достаточное поглощение при плотности паров йода, соответствующей комнатной температуре.

Спектр регистрируется на фотопластинке, где одновременно впечатывается шкала длин волн (в нанометрах).

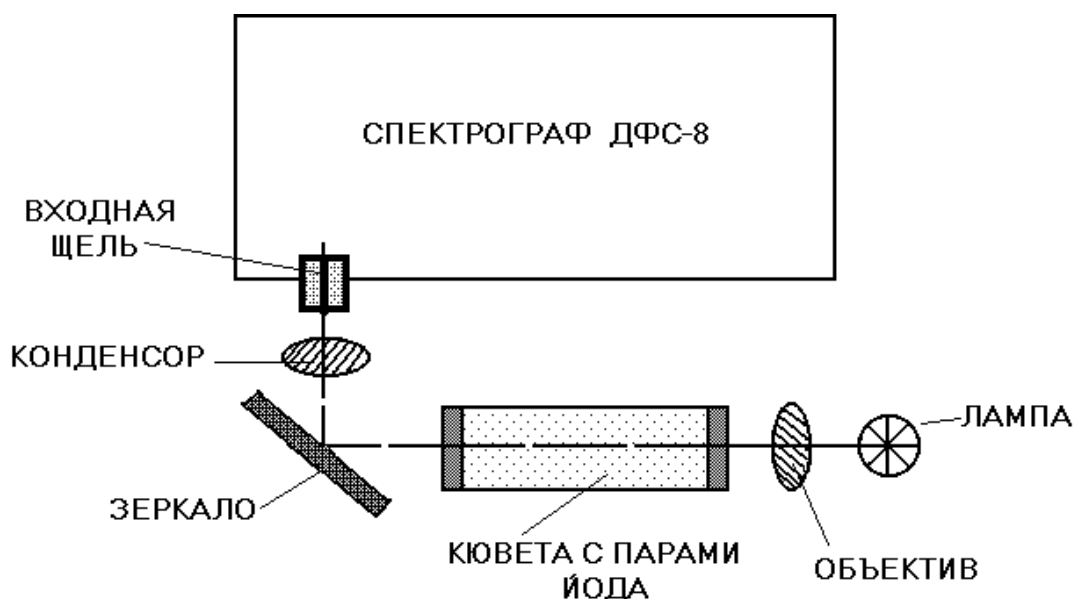


Рис.11. Блок-схема установки.

Общий вид установки и оптическая схема спектрографа изображены на Рис.12 и Рис.13 соответственно.

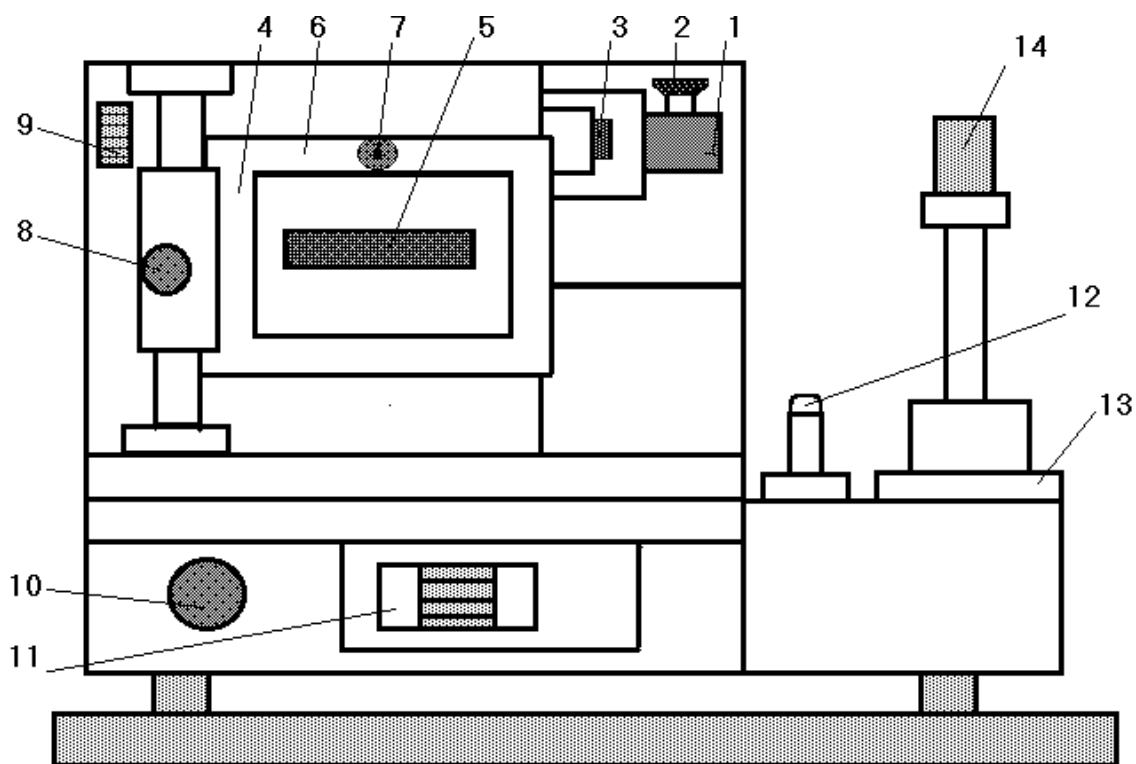


Рис.12. Внешний вид установки:

1 – входная щель спектрографа ДФС-8; 2 – барабанчик для регулировки ширины входной щели; 3 – ручка затвора щели; 4 – кассетная часть спектрографа; 5 – выходная щель; 6 – кассетная рамка; 7 – зажим для закрепления кассеты; 8 – ручка перемещения кассетной рамки; 9 – шкала для фиксации положения кассетной рамки; 10 – маховик поворота решетки; 11 – шкала длин волн (в нанометрах); 12 – тумблер включения лампочки подсветки шкалы; 13 – оптическая скамья; 14 – зеркало.

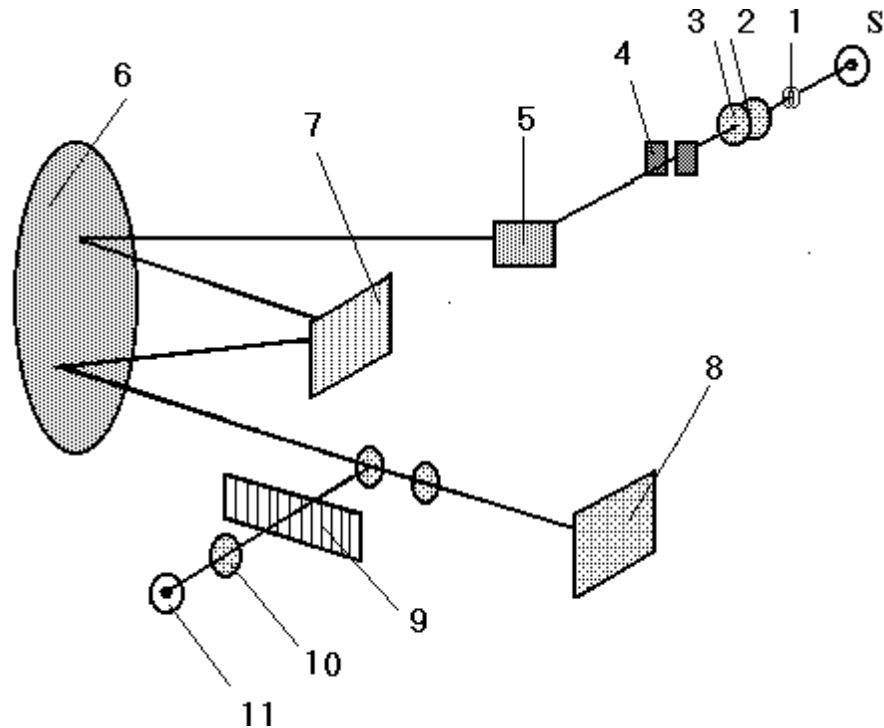


Рис.13. Принципиальная оптическая схема спектрографа ДФС-8:

S - источник света; 1,2,3 – осветительная система; 4 – входная щель; 5,6 – зеркала; 7 – дифракционная решетка; 8 – фотопластинка; 9 – шкала длин волн; 10 – линза конденсора подсветки шкалы; 11 – лампочка подсветки.

Оптическая схема спектрографа - автоколлимационная. Свет от источника S (см. Рис.13) проходит осветительную систему, состоящую из конденсоров 1,2,3 (при достаточной интенсивности источника света конденсорами 1 и 2 можно не пользоваться). Через входную щель 4 с помощью поворотного зеркала 5 и зеркала 6 свет попадает на дифракционную решетку 7. Разложенный в спектр пучок возвращается на зеркало 6 и, отражаясь от него, собирается в фокальной плоскости, где расположена фотопластинка 8. На фотопластинке помещается не весь спектр, а лишь часть его - полоса со спектральной шириной 750 \AA^0 . Спектральная область изменяется при повороте решетки. Диспергирующим элементом спектрографа является плоская дифракционная решетка с плотностью 600 штрихов на 1 мм и полным количеством штрихов 60000, обеспечивающая дисперсию $6 \text{ \AA}^0/\text{мм}$ в первом порядке интерференции. Рабочий диапазон прибора $2000-10000 \text{ \AA}^0$.

Щель 1 (см. Рис.12) спектрографа открывается до 0.4 мм ширины барабаном 2 микрометрического винта с ценой деления 0.001 мм. На рамке 6 кассетной части 4 спектрографа с помощью зажима 7 крепится кассета. Перемещение рамки осуществляется ручкой 8 и контролируется шкалой 9. Маховик 10 поворачивает решетку вокруг вертикальной оси, изменяя спектральную область, фиксируемую пластинкой. Поворот решетки контролируется шкалой в окошке 11. Ручка 3 включает и выключает шторный затвор, перекрывающий щель; тумблером 12 включается лампочка подсветки шкалы.

Полосы поглощения йода расположены в спектральной полосе 5000-6000 Å. Спектрограммы можно считать удовлетворительными, если они содержат не менее 30 кантов полос поглощения. Режим работы (ширина входной щели спектрографа, тип пластинок, экспозиция и т.д.) указаны в инструкции к установке.

Порядок выполнения работы.

- 1.Зарядить фотокассету.
- 2.Подготовить установку к работе.
- 3.Провести внимательное визуальное наблюдение, а затем фотографирование спектра поглощения молекулярного йода и шкалы длин волн.
- 4.Проявить пластинку.

Установка №2

Блок - схема установки № 2 незначительно отличается от блок - схемы установки № 1 (см. Рис.11). В ней вместо спектрографа ДФС-8 для исследования спектра поглощения паров йода используется дифракционный спектрограф ДФС-452, в котором, в отличие от ДФС-8, отсутствует впечатываемая вместе со спектром поглощения шкала длин волн. Поэтому для определения длин волн спектра поглощения необходим эталонный спектр (ртутно - гелиевая лампа).

Общий вид установки и его оптическая схема представлены на Рис. 14 и 15. Свет от лампы накаливания 1 (Рис.14), пройдя конденсор 2, кювету с йодом 3, конденсор 4 и отразившись от зеркала 5, попадает на входную щель 6 дифракционного спектрографа ДФС-452.

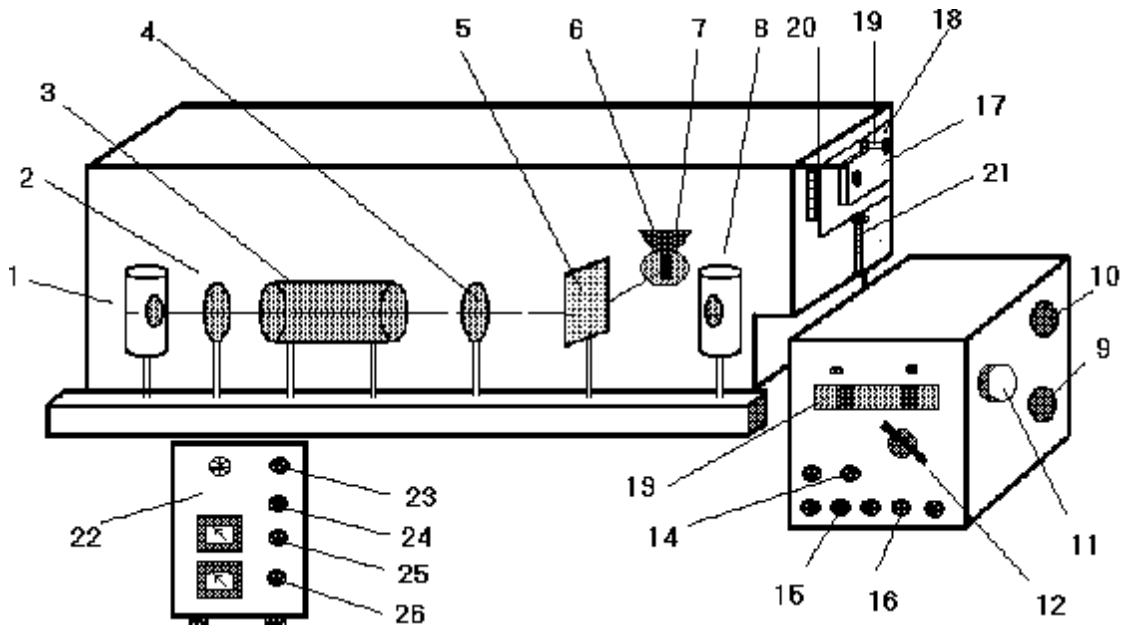


Рис.14. Общий вид установки.

1 – лампа накаливания; 2,4- конденсоры; 3 – кювета с йодом; 5 – зеркало; 6 – входная щель спектрографа; 7 – маховик регулировки входной щели спектрографа; 8 – ртутно-гелиевая лампа ДРГС-12; 9 – рукоятка включения зеркала; 10 –рукоятка переключения решеток; 11–маховик поворота решетки; 12 – переключатель порядка дифракционных решеток; 13–шкала длин волн; 14 – тумблер “сеть”(включение спектрографа); 15 -тумблер “затвор”; 16 – переключатель “перемещение кассеты вверх-вниз”; 17 – кассета; 18 – рамка кассетной части; 19- зажим для закрепления кассеты; 20 –шкала отсчета перемещения рамки кассетной части; 21 – механизм перемещения кассетной части; 22 – блок питания ламп; 23 – тумблер “сеть”; 24 – переключатель “ДРГС – лампа накаливания”; 25 – тумблер “анод”; 26 – тумблер “накал”

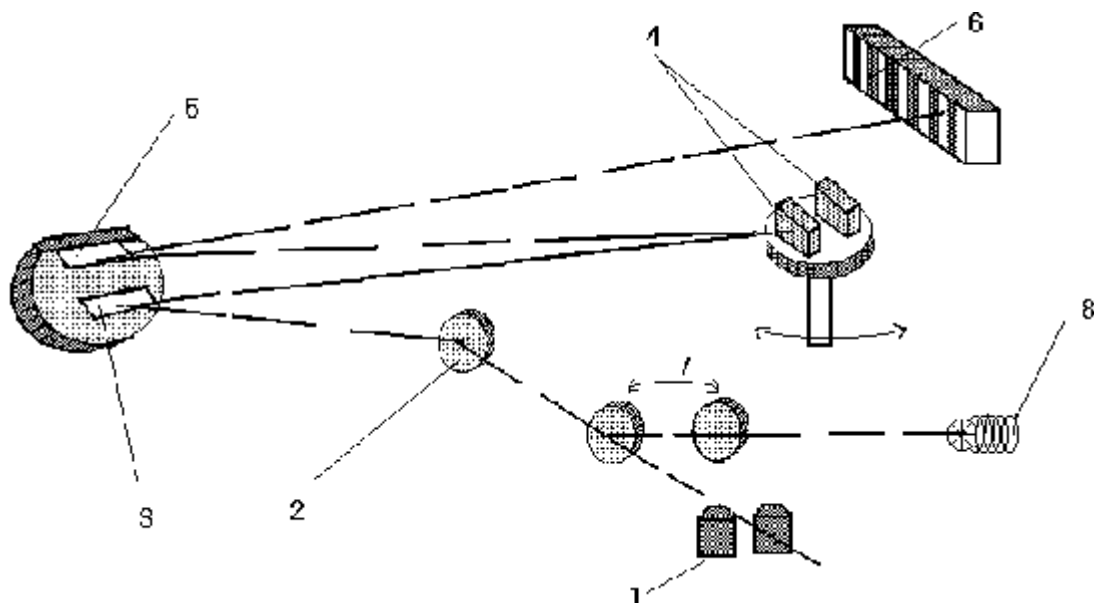


Рис.15 Принципиальная оптическая схема спектрографа ДФС-452
 1-входная щель; 2 .3 .5 .7- зеркала; 4-дифракционная решетка на поворотном столе; 6-фотопластинка; 8-юстировочный источник света.

Свет, пройдя входную щель 1 (Рис.15), направляется зеркалом 2 на коллиматорное зеркало 3. Отразившись от коллиматора свет идет на одну из дифракционных решеток 4, установленную на поворотном столе. Образованный этой решеткой спектр зеркалом 5 выходного коллиматора фокусируется на фотопластинку 6. На одну фотопластинку фиксируется участок спектра протяженностью 1800 \AA . Кассета спектрографа рассчитана на 2 фотопластинки, поэтому одновременно можно фотографировать участок спектра шириной 3600 \AA . Наилучшее качество спектра обеспечивается в середине этого участка. Диспергирующим элементом спектрографа является дифракционная решетка. В спектрографе ДФС-452 имеются две дифракционные решетки: одна - 600 штрихов на мм, другая - 1200 штрихов на мм. При выполнении данной работы используется только решетка с 600 штрихов/мм, размером $50 \times 50 \text{ мм}$, обеспечивающая в первом порядке дисперсию 16 \AA/мм . Рабочий диапазон спектрографа от 1900 \AA до 11000 \AA . При юстировке спектрографа на пути луча вводится поворотное зеркало 7, которым свет от источника 8, направляется изнутри на входную щель 1. По выходящему лучу устанавливают всю внешнюю оптическую систему. При выполнении работы зеркало 7 должно быть выведено.

Ширина входной щели 6 (Рис.14) регулируется с помощью маховика 7 в пределах от 0 до 0.4 мм., а ее высота ограничивается диафрагмой. Нужная длина волны на центр фотопластинки выводится поворотом дифракционной решетки вокруг оси, параллельной ее штрихам. Поворот решетки осуществляется маховиком 11. Значение длины волны, выведенной в центр кассеты указывается на шкале 13, градуированной в нанометрах. Спектр в нашем случае фотографируется на пластинки типа “изоорто”. Пластика устанавливается в фотокассете 17, которая при помощи зажима 19 крепится в рамке кассетной части 18. Положение кассеты фиксируется по шкале 20. Кассета перемещается вверх и вниз электромоторчиком, который включается тумблером “перемещение кассеты вверх-вниз” 16 на пульте управления спектрографом. На том же пульте имеется тумблер “затвор”, который открывает электромагнитный затвор, и спектр экспонируется на фотопластинку.

При фотографировании спектра поглощения паров йода источником света с непрерывным спектром излучения служит лампа накаливания 1 (см. Рис 14). Для получения эталонного спектра используется ртутно-гелиевая лампа ДРГС-12 (8 на Рис.14), которая находится рядом со спектрографом. Общий блок питания 22 (Рис.14) этих источников света расположен около спектрографа.

Полосы поглощения йода расположены в спектральной полосе 4000-6000 Å. Спектрограммы можно считать удовлетворительными, если они содержат не менее 30 кантов полос поглощения. Режим работы (ширина входной щели спектрографа, тип пластинок, экспозиция и т.д.) указаны в инструкции к установке.

Порядок выполнения работы.

1. **Зарядить кассету. Пластика должна быть заложена в кассету эмульсионной стороной к падающему свету.**
2. Подготовить установку к работе. Для этого:
 - установить ширину щели спектрографа. Отсчет ширины щели производить по шкале барабанчика 7 (Рис.14) с ценой деления 0.001 мм);
 - ограничить высоту щели. Высоту щели ограничивают при помощи диафрагмы, которая помещается в насадке перед щелью;
 - установить ручку “переключение решеток” 10 в положение “600”;
 - установить “переключатель порядка дифракционных решеток” 12 в положение “600/1”
 - установить при помощи маховика 11 и шкалы 13 длину волны 550 нм,
 - установить ручку “зеркало” 9 в положение “выведено”;
 - укрепить кассету при помощи зажимов 19 на рамке кассетной части 18 спектрографа

- включить спектрограф в сеть (тумблер 14);

3. Включить лампу накаливания 1 (Рис.14) при помощи переключателя. Проверить юстировку системы: свет от лампы накаливания должен проходить через кювету с парами йода 3 (Рис.14) и попадать на щель спектрографа. Провести внимательное визуальное наблюдение, а затем фотографирование спектра поглощения йода с различными экспозициями. Выключить лампу накаливания.

4. Проверить установку ртутно-гелиевой лампы 8 на оптической скамье. Включить ее. Для этого:

- включить сеть 23 (Рис.14)
- поставить переключатель 24 в положение ДРГС
- включить переключатель накала 26 и анода 25.

Добиться максимальной освещенности щели спектрографа лампой.

Сфотографировать спектр лампы (эталонный спектр).

Выключение лампы 8 проводить в обратном порядке.

5. Проявить пластинку.

Для уменьшения ошибок при измерении длин волн кантов спектры поглощения и эталонный должны слегка накладываться друг на друга.

9. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ. ЗАДАНИЕ.

Предъявление пластинок при сдаче задачи и распечатки компьютерной обработки результатов обязательно.

Обработка данных, полученных на установке №1.

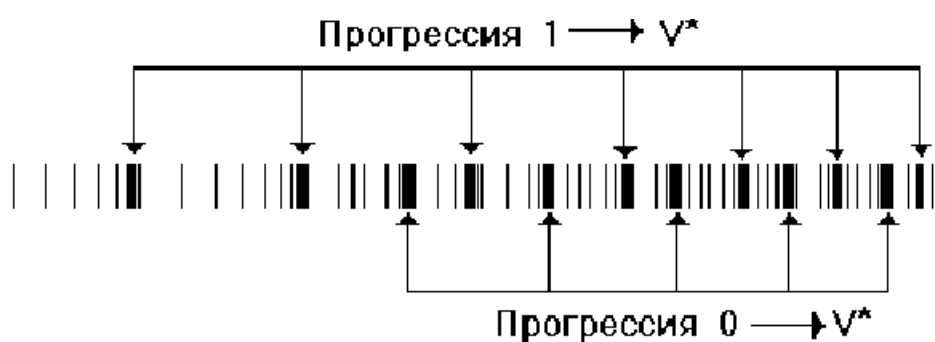
Для обработки пластинок используется диапроектор. Установив пластинку в рамке прибора проецируют изображение спектра вместе со шкалой на экран из миллиметровой бумаги. Наличие шкалы длин волн позволяет (при линейной дисперсии прибора) установить одинаковый по всему изображению на экране масштаб $1 \text{ \AA}/\text{мм}$, удобный для быстрого визуального определения длин волн кантов колебательных полос.

Прогрессии выделяются по приблизительной эквидистантности кантов полос. Схема выделения дана на Рис.16. Длины волн кантов, определенные по впечатанной шкале переводятся в волновые числа

Обработка данных, полученных на установке №2.

Для обработки спектрограмм используется компаратор ИЗА-2. При помощи спектра ртути на фотопластинке, прилагаемой к установке, отождествить линии эталонного спектра с рабочей пластинкой. Затем установить пластинку в рамку компаратора. Выделить колебательные серии. Отметить координаты. С помощью программы “СПЕКТР” на ЭВМ построить дисперсионную кривую эталонного спектра ртути и по нему восстановить длины волн кантов колебательных полос обеих прогрессий йода.

Прогрессии выделяются по приблизительной эквидистантности кантов полос. Схема выделения дана на Рис.16.



16. Схема выделения прогрессий из спектрограммы

Окончательный результат работы - график, на котором изображены оба электронных терма молекулы йода в виде потенциалов Морзе для обоих термов с реальными параметрами, определенными из эксперимента - ширинами и энергиями диссоциации. Укажите найденные величины колебательных квантов $\hbar\omega_x$ и $\hbar\omega_x^*$ а также количество колебательных уровней в обоих термах v_{\max} и v_{\max}^* .

По принципу Франка - Кондона одной из наиболее интенсивных в прогрессии $0 \rightarrow v^*$ должна быть полоса, соответствующая переходу на такой колебательный уровень v^* , у которого классическая точка поворота лежит вблизи межъядерного расстояния R_0 . Найдите этот номер v^* аналитически и сравните с наиболее интенсивной полосой поглощения в прогрессии $0 \rightarrow v^*$.

11. ОБРАБОТКА ДАННЫХ.

Пример ввода данных:

	$v''=0$	$v''=1$
v'	λ_0	λ_1
		5960
		5922
		5884
		5848
16	5773	5813
17	5741	5780
18	5710	5749

1. В таблицу Деландра (см. п.12 “Таблица Деландра.”) должны быть введены длины волн всех кантов полос первой серии (в столбец λ_0), начиная с любого номера (уровня верхнего состояния v'). По мере увеличения номера v'' длина волны должна уменьшаться. **(Внимание! В программе-обработке результатов обозначения v и v^* заменены на v'' и v').** Одновременно на экране высвечиваются волновые числа (в см^{-1} , столбец $1/\lambda_0$) и разность между соседними волновыми числами, т.е. колебательные кванты верхнего состояния ($\delta 1/\lambda = 1/\lambda_{0v'} - 1/\lambda_{0v''}$).

2. Аналогично вводятся канты полос второй серии, начиная с любого номера v' в столбец λ_1 , $1/\lambda_1$, $\delta_1(1/\lambda)$ высвечиваются на экране.

3. После ввода экспериментальных данных на экране компьютера высвечиваются разности между волновыми числами первой и второй серии (столбец

$\delta_{01} = 1 / \lambda_0(v') - 1 / \lambda_1(v')$) в зависимости от номера верхнего уровня.

Стрелками \Updownarrow для первой и второй серии следует добиваться такого расположения уровней, чтобы разность волновых чисел членов обеих серий с одинаковыми значениями v' δ_{01} была одинаковой, - это есть основной колебательный квант нижнего состояния ω_{01} (7.3).

При получении правильного взаимного расположения серий в таблице кривая зависимости $\delta_{01}(v')$ на экране окажется горизонтальной и загорится желтым цветом.

Погрешность, рассчитываемая в столбце δ , в этом случае окажется минимальной, а кривые зависимости колебательных квантов верхнего состояния для обеих серий (зависимость линейная) $\hbar \omega_{v'v''}$ от номера v' совпадут.

4. Одновременно на экране строится график зависимости волновых чисел переходов первой и второй серии от номера колебательного уровня верхнего состояния и от энергии колебательных квантов соответствующих переходов (две параболы). Для обработки этих кривых левой клавишей мыши нажмите на темный фон в области этого графика. Проведите обработку данного графика: определите энергию диссоциации нижнего состояния D ; по значениям D и $\hbar \omega_{01}$ рассчитайте параметр ангармоничности $\hbar \omega_x$ и параметр крутизны нижнего электронного терма α (в ед. CGS).

По этим данным (α и D) может быть построен потенциал Морзе для основного электронного терма молекулы йода.

5. После правильного расчета на экране монитора высвечивается кнопка **ТЕРМЫ**. При нажатии на эту кнопку появляются правильное изображение нижнего электронного терма, а верхний терм строится произвольно, т.к. начальный номер v' первой серии остается неопределенным. Нажатием кнопок \Updownarrow (в центре вверху) можно добиться попадания в нужный номер v' обеих серий и на экране отмечается специальным цветом правильный результат.

По графику зависимости $\hbar \omega_{v'v''}(v')$ следует уметь оценить параметры Морзе D^* и α^* верхнего электронного терма молекулы йода.

Можно наблюдать, передвигая ОБЕ серии вверх и вниз и изменяя, тем самым, “начальный номер” прогрессий (мы начали с номера $v^*=17$) изменения в параметрах возбужденного электронного терма.

12. ТАБЛИЦА ДЕЛАНДРА.

В таблице Деландра длины волн (волновые числа) кантов электронно-

колебательных полос, расположенных соответственно колебательным волновым числам верхнего электронного терма (v') и нижнего электронного терма (v'').

В спектре поглощения йода при комнатной температуре ($T=300\text{ K}$) наблюдаются две серии полос:

- серия $v''=0 \rightarrow v'$ - переходы с основного колебательного уровня $v''=0$ нижнего терма на "все" колебательные уровни верхнего (принцип Франка-Кондона); в таблице Деландра - первый столбец;

- серия $v''=1 \rightarrow v'$ - переходы с колебательного нижнего терма $v''=1$ на "все" колебательные уровни верхнего (принцип Франка-Кондона); в таблице Деландра - второй столбец.

В каждой серии: волновые числа переходов $0 \rightarrow v'$ и $0 \rightarrow v'+1$ (или $1 \rightarrow v'$ и $1 \rightarrow v'+1$) отличаются на величину, соответствующую разности энергий $E_{v'+1} - E_{v'}$ колебательных уровней $v'+1$ и v' верхнего терма (верхнему колебательному кванту); в таблице Деландра - *соседние элементы одного столбца и их разность*.

Волновые числа переходов $0 \rightarrow v'$ и $0 \rightarrow v'+1$ на один и тот же колебательный уровень верхнего терма отличаются на величину, соответствующую разности энергий $E_1 - E_0$ колебательных уровней $v''=1$ и $v''=0$ (нижнему колебательному кванту); в таблице Деландра - *соседние элементы одной строки и их разность*.

В правильно сформированной таблице Деландра нижний квант одинаков во всех строках таблицы и не зависит от номера v' .

ЛИТЕРАТУРА

1. Герцберг Г. Спектры и строение двухатомных молекул. - М: ИЛ., 1949.
2. Квливидзе В.А., Красильников С.С. Введение в физику атомных столкновений. - М.: Изд. Моск. Ун.-та, 1985.
3. Мальцев А.А. Молекулярная спектроскопия. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.
4. Кондратьев В.Н. Структура атомов и молекул. - М.: Физматгиз, 1959.
5. Герцберг Г. Спектры и строение двухатомных молекул. - М.: ИЛ., 1949.
6. Герцберг Г. Спектры и строение простых свободных радикалов. - М.: Мир, 1974.
7. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. - М.: Физматгиз, 1962.
8. Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц. Квантовая механика, т. III. - М.: 1974.