

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Физико-Технический  
Направление подготовки 03.03.02 Физика  
Кафедра Общей физики (010700)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Анализ колебательно-вращательного спектра высокого разрешения и решение обратной спектроскопической задачи для системы взаимодействующих состояний инфракрасной области спектра молекулы C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>D</b>

УДК 539.194:544.14

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБЗ1	Жданович Станислав Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры общей физики ФТИ ТПУ	Бехтерева Елена Сергеевна	Доктор физико- математических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента ИСГТ ТПУ	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ	Федорчук Юрий Митрофанович	Доктор технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер Андрей Маркович	Кандидат физико- математических наук		

Томск – 2017 г.

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС ( <i>ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19</i> ) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)	Требования ФГОС ( <i>ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13,</i> ), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности	Требования ФГОС ( <i>ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18</i> ), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического мастерства	Требования ФГОС ( <i>ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок	Требования ФГОС ( <i>ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий	Требования ФГОС ( <i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания при получении и исследовании наноматериалов	Требования ФГОС ( <i>ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности	Требования ФГОС ( <i>ОК-12, ОК-16, ОК-21, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-7</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС ( <i>ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-14</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Р10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии	Требования ФГОС ( <i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-9</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
-----	--	---

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Физико-Технический  
Направление подготовки 03.03.02 Физика  
Кафедра Общей физики (010700)

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Лидер А.М.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0БЗ1	Жданович Станислав Андреевич

Тема работы:

Анализ колебательно-вращательного спектра высокого разрешения и решение обратной спектроскопической задачи для системы взаимодействующих состояний инфракрасной области спектра молекулы  $C_2H_3D$

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Приказ 2835/с от 19.04.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

08.06.2017

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

**Объект исследования:**

Молекула  $C_2H_3D$

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы;</p> <p>Анализ спектра молекулы <math>C_2H_3D</math> в области 600-1250 <math>cm^{-1}</math>;</p> <p>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</p> <p>Раздел «Социальная ответственность».</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Екатерина Валентиновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук Юрий Митрофанович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Раздел 2: Математическая модель, использованная для анализа спектра и решения обратной задачи молекулярной спектроскопии</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>18.10.2016</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор кафедры общей физики ФТИ ТПУ</p>	<p>Бехтерева Елена Сергеевна</p>	<p>Доктор физико-математических наук</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>0Б31</p>	<p>Жданович Станислав Андреевич</p>		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 110 с., 9 рис., 26 табл., 31 источников, 2 прил.

Ключевые слова: Молекулярная спектроскопия, спектры высокого разрешения, спектроскопические параметры, молекула C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D.

Объектом исследования является (ютя) молекула C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D.

Цель работы – анализ спектра поглощения высокого разрешения молекулы C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D в области 600-1250 см<sup>-1</sup>.

В процессе исследования проводились интерпретация спектра с помощью метода комбинационных разностей, на основе полученных результатов интерпретации была решена обратная спектроскопическая задача.

В результате исследования В результате анализа спектра было проинтерпретировано порядка 8000 переходов, из которых получено 2989 уровней возбужденных колебательно-вращательных состояний использовавшихся при решении обратной задачи. По теории изотопозамещения были получены параметры взаимодействия между полосами  $\nu_4$ ,  $\nu_6$ ,  $\nu_7$ ,  $\nu_8$ , и  $\nu_{10}$ , в качестве исходных использованы параметры молекулы C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. При решении обратной спектроскопической задачи получено около 50 спектроскопических параметров, восстанавливающих исходные данные с погрешностью, не превышающей экспериментальную ( $d_{rms} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ ).

Область применения: астрофизика, планетология и атмосферная оптика.

Экономическая эффективность/значимость работы Полученные результаты используются для пополнения российских и международных баз данных.

В будущем планируется изучение других изотопологов молекулы этилена.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1 Существующие исследования в области молекулярной спектроскопии высокого разрешения проведенные для молекул $C_2H_3D$ и $C_2H_4$ .....	12
2 Математическая модель, использованная для анализа спектра и решения обратной задачи молекулярной спектроскопии.....	14
2.1 Общая информация о молекуле $C_2H_3D$ .....	16
2.2 Модель эффективного гамильтониана .....	18
2.3 Метод комбинационных разностей.....	19
2.4 Принцип работы Фурье-спектрометра .....	20
3 Применение теории изотопозамещения для оценки спектроскопических параметров взаимодействия выделенных состояний .....	23
4 Результаты анализа группы полос молекулы $C_2H_3D$ в области $600-1250\text{ см}^{-1}$	25
4.1 Условия получения спектра поглощения на Фурье-спектрометре.....	25
4.2 Идентификация переходов спектра .....	26
4.3 Анализ системы взаимодействующих состояний $(\nu_4 = 1)$ , $(\nu_6 = 1)$ , $(\nu_7 = 1)$ , $(\nu_8 = 1)$ , $(\nu_{10} = 1)$ .....	26
5 Социальная ответственность .....	30
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	30
5.1.1 Метеоусловия .....	30
5.1.2 Шум .....	32
5.1.3 Освещенность.....	36
5.1.4 Электромагнитные поля.....	40
5.2 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды.....	42
5.2.1 Электробезопасность.....	42
5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы.....	45
5.3 Охрана окружающей среды .....	48
5.4 Защита в ЧС .....	49
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	50
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	53

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	53
6.1.2 SWOT-анализ .....	53
6.1.3 Диаграмма Исикавы.....	57
6.2. Инициация проекта.....	58
6.3. Планирование управления научно-техническим проектом .....	60
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	60
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	61
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	62
6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	63
6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
Заключение .....	68
Список публикаций.....	69
Список используемых источников.....	70
Приложение А .....	73
Приложение Б.....	102

## ВВЕДЕНИЕ

Колебательно-вращательная спектроскопия молекул путем изучения тонкой структуры спектров позволяет получить информацию о таких физических характеристиках молекул как магнитный момент, электрический момент, её структурные постоянные, внутримолекулярное силовое поле, а также межмолекулярный потенциал. В свою очередь эти характеристики молекул необходимо знать для развития и решения задач биологии, химии и молекулярной физики.

Анализ спектров высокого разрешения позволяет определить систему уровней энергии молекулы, найти спектроскопические постоянные, из которых впоследствии могут быть определены структурные параметры и потенциальная функция молекулы. Потенциальная функция молекулы определяет внутреннюю динамику молекулы, то есть дает представления о процессах, происходящих в ней.

Параметры потенциальной функции можно определить из теоретических расчетов (*ab initio* методов), но точность таких расчетов для молекул с числом атомов более трех на 4-5 порядков хуже данных полученных из эксперимента, к тому же, требует больших вычислительных мощностей. С помощью *ab initio* методов можно предсказать такие спектроскопические параметры как, например, центр полосы [1, 2].

С другой стороны, найти фундаментальные параметры потенциальной функции молекулы можно применяя полуэмпирические методы. В таком случае возникает необходимость решить следующий комплекс задач:

1. Физическое обоснование и разработка метода нахождения внутримолекулярных потенциальных функций;
2. Разработка алгоритмов (программ) для реализации этих методов;
3. Анализ спектров высокого разрешения для обеспечения первых пунктов высокоточной информацией, полученной из экспериментальных данных;

4. Проведение эксперимента по получению спектров высокого разрешения [1].

Последний пункт выполняется благодаря развитию Фурье-спектроскопии. Современные Фурье-спектрометры дают возможность получать спектры с разрешением лучше, чем  $0,003 \text{ см}^{-1}$  [3].

Полученные из анализа данные будут использоваться для пополнения как российских (Информационно-вычислительная система "Спектроскопия атмосферных газов" [4]), так и международных баз данных (NITRAN [5], GEISA [6]). База NITRAN включает параметры линий поглощения более 40 присутствующих в атмосфере Земли молекулярных газов и предназначена для численного моделирования линейчатых спектров в условиях, близких к атмосферным. Спектроскопические данные, в свою очередь, широко используются для решения многочисленных как теоретических, так и прикладных задач астрофизики, планетологии, атмосферной оптики. Базы данных спектров высокого разрешения, используются для анализа состава атмосфер планет. Задача дистанционного мониторинга и обнаружения определенных молекул в составе атмосфер планет решается, в том числе, для поиска планет подобных Земле, а также исследования экзопланет. При этом метан, трансформирующийся в этилен на планетах, имеющих твердую поверхность, служит одним из сигналов возможного существования форм жизни [7-10].

Для моделирования линейчатых спектров также возникает необходимость знать корректную потенциальную функцию исследуемой молекулы. В свою очередь, для того чтобы определить такую потенциальную функцию из экспериментальных данных, необходимо обладать информацией о как можно большем числе различных изотопических модификаций молекулы. В связи с этим, исследование молекулы  $\text{C}_2\text{H}_3\text{D}$  представляет большой интерес, с точки зрения определения потенциальной функции молекулы  $\text{C}_2\text{H}_4$  [11-12].

В данной работе **цель** была определена как: анализ спектра поглощения высокого разрешения молекулы  $C_2H_3D$  в области  $600-1250\text{ см}^{-1}$ . Для выполнения данной цели были определены следующие **задачи**:

1. Идентификация переходов в спектре молекулы  $C_2H_3D$  в области  $600-1250\text{ см}^{-1}$ ;
2. Определение резонансных параметров взаимодействия между полосами, расположенными в области  $600-1250\text{ см}^{-1}$ ;
3. Определение спектроскопических параметров эффективного гамильтониана, моделирующего переходы в спектре.

## 1 Существующие исследования в области молекулярной спектроскопии высокого разрешения проведенные для молекул $C_2H_3D$ и $C_2H_4$

Международный каталог спектроскопических данных HITRAN имеет большое количество информации о молекуле этилена [13-14]. Однако, для решения задач астрофизики, в частности, связанных с моделированием спектров необходимо постоянно пополнять и уточнять эту информацию. Также для решения таких задач как нахождение потенциальной функции необходима информация о изотопических модификациях молекулы этилена.

Относительно исследований молекулы  $C_2H_3D$  в области молекулярной спектроскопии высокого разрешения можно сказать, что из-за повышения точности эксперимента по снятию спектра данные статьи приведенные в таблице 1 в первых трех строках [15-17] можно считать устаревшими, поскольку точности использованных экспериментальных данных недостаточно для решения обратной задачи.

В статье [18] был проведен анализ колебательно-вращательного спектра молекулы  $C_2H_3D$  в области  $1330-1475\text{ см}^{-1}$ . На основе проведенного анализа из экспериментальных данных получена вращательная структура основного колебательного состояния молекулы. Из анализа фундаментальной полосы  $\nu_{12}$  авторами было проинтерпретировано 1444 перехода, для соответствующего состояния найдены спектроскопические постоянные, восстанавливающие экспериментальные значения уровней со среднеквадратичным отклонением  $d_{rms} = 5,5 \cdot 10^{-4}$ . Неопределенность положения линии в спектре составила  $6,5 \cdot 10^{-4}\text{ см}^{-1}$ . Параметры основного колебательного состояния, полученные в данной статье, были взяты в качестве начального приближения при фитинге.

В работе [19] исследовались валентные колебания молекул  $C_2H_3D$  и  $C_2HD_3$ , с помощью теории локальных мод для этих молекул были найдены спектроскопические постоянные, параметр среднеквадратичное отклонение  $d_{rms}$  для  $C_2H_3D$  составил  $7\text{ см}^{-1}$ .

В таблице 1 приведены основные результаты интерпретации спектра молекулы  $C_2H_3D$ , ранее проведенные в области  $600-1250\text{ см}^{-1}$  для полос  $\nu_4, \nu_6, \nu_7, \nu_8, \nu_{10}$ , иными словами, тех, что исследуются в данной ВКР.

Таблица 1 – Существующий анализ спектра в области  $600-1250\text{ см}^{-1}$

Статья, год опубликования	Полосы в области $600-1250\text{ см}^{-1}$	Разрешение спектра, $\text{см}^{-1}$	Неопределенность положения линии, $\text{см}^{-1}$	$d_{rms}$	Проинтерпретировано переходов	Максимальные $J/K_a$
[15], 1982	$\nu_7$	0,08	0,002	-		24/9
[16], 1984	$\nu_7, \nu_8$		0,001	-	1775	31/13, 27/10
[17], 1987	$\nu_{10}$		0,001	-	140	26/3-10
[20], 1988	$\nu_4, \nu_6, \nu_7, \nu_8, \nu_{10}$		0,0003	0,03	18 000	35/14, 30/13, 35/14, 35/14, 28/3-14
[21], 2010	$\nu_6$	0,0063	0,0006	0,0006	947	

Авторы работы [20] не смогли точно воспроизвести (с  $d_{rms} < 0,0003$ ) экспериментальный спектр с помощью модели при решении обратной задачи, тем не менее в некоторой степени согласие с экспериментом наблюдалось ( $d_{rms} = 0,03\text{ см}^{-1}$ ).

Поскольку точность используемых в данной ВКР экспериментальных данных приблизительно совпадает с [20-21], должна наблюдаться корреляция между полученными в этих работах спектроскопическими параметрами и параметрами, полученными в данной ВКР.

## 2 Математическая модель, использованная для анализа спектра и решения обратной задачи молекулярной спектроскопии

Природные явления часто изучаются с помощью построения модели процесса или объекта. Молекулярная спектроскопия изучает поглощение света молекулами в различных диапазонах частот при различных значениях параметров окружающей среды (температуры, давления, электрических и магнитных полей). Моделирование процессов поглощения света молекулами сводится, в первую очередь, к построению конкретного гамильтониана молекулы.

Молекула, поглощающая электромагнитное излучение, представляется в виде электронов и ядер составляющих ее. Затем решается задача об их движении в отсутствие внешних полей. Процесс поглощения электромагнитного излучения – это переход молекулы из низкоэнергетического состояния в состояние с большей энергией, переход осуществляется за счет энергии кванта излучения. Для описания уровней энергии молекулы необходимо решить уравнение Шредингера (2.1) с оператором Гамильтона  $H$ , зависящем от координат и спинов частиц составляющих молекулу, а также учитывающего взаимодействия между этими частицами. В молекулярной спектроскопии используют нерелятивистские гамильтонианы имеющие вид (2.2).

$$H\psi = E\psi, \quad (2.1)$$

где  $\psi$  – волновая функция состояния,  $E$  энергия состояния.

$$H = T_{nucl} + T_{el} + V, \quad (2.2)$$

где  $T_{nucl}$  и  $T_{el}$  – операторы кинетической энергии ядер и электронов,  $V$  – оператор потенциальной энергии молекулы. Эти операторы в пространственно-фиксированной системе (ПФС) координат имеют вид:

$$\begin{aligned} T_{nucl} &= -\frac{\hbar^2}{2} \sum_N \frac{1}{m_N} \left( \frac{\partial^2}{\partial x_N^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_N^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_N^2} \right), \\ T_{el} &= -\frac{\hbar^2}{2} \sum_i \frac{1}{m_{el}} \left( \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_i^2} \right), \\ V &= \sum_{i,j>i} \frac{e^2}{r_{ij}} + \sum_{N,N'>N} \frac{Z_N Z_{N'}}{r_{NN'}} - \sum_{i,N} \frac{e Z_N}{r_{iN}}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где  $m_N$  и  $m_{el}$  – массы ядер и электронов;  $Z_N$  и  $e$  – заряды ядер и электронов;  $r_{ij}$  – расстояние между  $i$ -той и  $j$ -той частицами.

Точное решение уравнения Шрёдингера с таким гамильтонианом – очень сложная задача. Поэтому, существуют многочисленные приближения. Также возникает задача получения гамильтониана, зависящего от вращательных и колебательных переменных, – перевод классического гамильтониана (2.2) в гамильтониан во внутримолекулярных координатах. В итоге такого перевода получаем колебательно-вращательный гамильтониан Уотсона [22]. Опишем теперь кратко основные положения теорий, используемых в колебательно-вращательной спектроскопии молекул для упрощения задачи решения уравнения Шрёдингера.

Согласно *приближению Борна-Оппенгеймера*, решение уравнения Шрёдингера разбивается на две части, как и гамильтониан (2.4):

$$H = H_{el} + \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (2.4)$$

1. О движении электронов в поле медленно движущихся ядер (части соответствует слагаемое  $H_{el}$ );
2. О движении ядер в эффективном поле электронов ( $\Delta H_1$  и  $\Delta H_2$ ).

Части 1, 2 теперь можно решать отдельно, а полная волновая функция  $\psi$  (2.5) выражается как произведение электронной  $\psi_э$  и ядерной  $\psi_я$ .

$$\psi = \psi_э * \psi_я \quad (2.5)$$

*Метод эффективных операторов* позволяет заменить исходный гамильтониан  $H$ , решение с которым уравнения Шрёдингера невозможно или затруднительно, новым  $H'$  обладающим следующими свойствами:

1. Решение уравнения Шрёдингера с  $H'$  можно определить в явном виде;
2. Множество  $V'$  всех решений уравнения Шрёдингера с оператором  $H'$  тождественно совпадает с некоторым подмножеством  $V$  множества  $A$  решений уравнения Шрёдингера с оператором  $H$ .

Согласно *операторной теории возмущений* гамильтониан обычно выбирается в виде (2.4). При этом собственные функции выражаются в виде произведений соответствующих собственных функций слагаемых  $H$ .

$$H = H_0 + \sum_{n=1}^{\infty} H_n(\kappa^n) \quad (2.5)$$

где символ  $\kappa^n$  означает, что соответствующий оператор  $H_n$  является малым по сравнению с  $H_0$ , решения с которым известны, порядок малости  $H_n$  определяется как  $\kappa^n$ , где  $\kappa = (m_e/M_N)^{1/4}$ ,  $m_e$  – масса электрона,  $M_N$  – средняя масса ядер молекулы [23-24].

## 2.1 Общая информация о молекуле $C_2H_3D$ .

Молекула  $C_2H_3D$  (Рисунок 1) это молекула типа асимметричного волчка. Группа симметрии этой молекулы изоморфна точечной группе симметрии  $C_s$ .

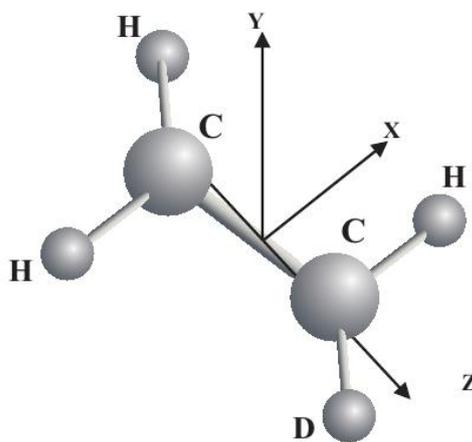


Рисунок 1 – Молекула  $C_2H_3D$

В данной работе мы рассмотрели фундаментальные полосы  $\nu_4$ ,  $\nu_6$ ,  $\nu_7$ ,  $\nu_8$  и  $\nu_{10}$ , которые расположены в области  $600-1250 \text{ см}^{-1}$ . Соответствующие колебательные координаты,  $Q_4$ ,  $Q_6$ ,  $Q_7$ ,  $Q_8$ ,  $Q_{10}$  (Рисунок 2) преобразуются при операциях симметрии по неприводимым представлениям  $A'$  и  $A''$  группы  $C_s$  (Таблица 2) [25-26].

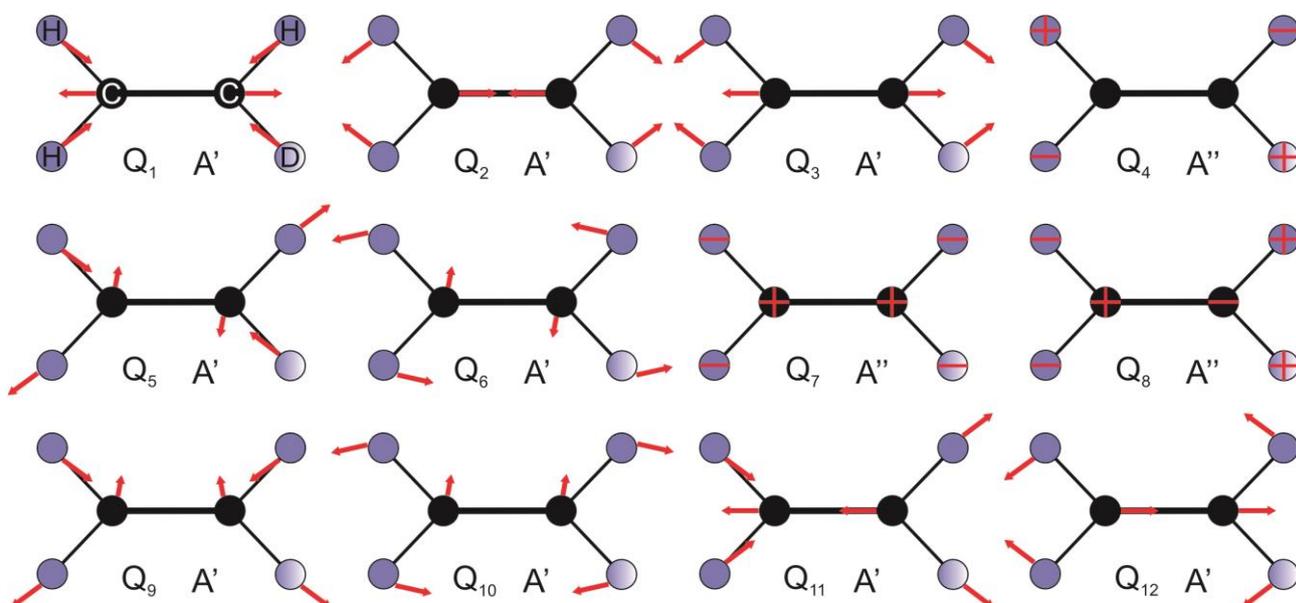


Рисунок 2 – Нормальные колебания молекулы  $C_2H_3D$

Таблица 2 - Преобразование элементов входящих группу  $C_s$

$C_s$	$E$	$\sigma_h$	Нормальные колебательные координаты	Операторы момента импульса
$A'$	1	1	$Q_1, Q_2, Q_3, Q_5, Q_6, Q_9, Q_{10}, Q_{11}, Q_{12}$	$J_x, J_z$
$A''$	1	-1	$Q_4, Q_7, Q_8,$	$J_y$

Исходя из симметрии молекулы, между полосами  $A'$  и  $A''$  должны быть распределены три типа переходов a, b, и c, правила отбора, соответствующие этим типам переходов имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \Delta J &= \pm 1 \quad \Delta K_a = \text{чет.} \quad \Delta K_c = \text{нечет.} \\
 \Delta J &= \pm 1 \quad \Delta K_a = \text{нечет.} \quad \Delta K_c = \text{нечет.} \\
 \Delta J &= \pm 1 \quad \Delta K_a = \text{нечет.} \quad \Delta K_c = \text{чет.}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

В дополнение, для всех типов переходов должно соблюдаться условия:

$$\begin{aligned}
 K_a + K_c &= J, J + 1 \\
 K_a, K_c &\leq J
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

## 2.2 Модель эффективного гамильтониана

Как говорилось ранее, для упрощения решения уравнения Шредингера возникает необходимость перевода гамильтониана (2.2) в гамильтониан во внутримолекулярных координатах. В работе [22] было показано что при переходе к  $(3N - 6)$  колебательным координатам  $Q_\lambda$ , которые описывают относительное движение ядер в молекуле, колебательно-вращательный гамильтониан молекулы принимает следующий вид

$$H = \frac{1}{2} \sum_{\lambda} P_{\lambda}^2 + \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta} \mu_{\alpha\beta} (J_{\alpha} - G_{\alpha})(J_{\beta} - G_{\beta}) + V(Q), \quad (2.8)$$

где  $P_{\lambda} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial Q_{\lambda}}$  - импульс, сопряженный координате  $Q_{\lambda}$ ;

Потенциальная функция  $V(Q)$  может быть представлена в виде разложения в ряд Тейлора:

$$V(Q) = E_0 + \frac{(2\pi c)^2}{2} \sum_{\lambda} \omega_{\lambda}^2 Q_{\lambda}^2 + \sum_{\lambda\mu\nu} K_{\lambda\mu\nu} Q_{\lambda} Q_{\mu} Q_{\nu} + \sum_{\lambda\mu\nu\xi} K_{\lambda\mu\nu\xi} Q_{\lambda} Q_{\mu} Q_{\nu} Q_{\xi} + \dots \quad (2.9)$$

здесь:

$$G_{\alpha} = \sum_{\lambda\mu} \zeta_{\lambda\mu}^{\alpha} Q_{\lambda} P_{\mu} \quad (2.10)$$

- компоненты колебательного углового момента;

$$\zeta_{ab}^{\alpha} = \sum_N \sum_{\beta\gamma} \epsilon_{\alpha\beta\gamma} l_{N\beta a} l_{N\gamma b} \quad (2.11)$$

- кориолисовы постоянные;

$\epsilon_{\alpha\beta\gamma}$  - полностью антисимметричный тензор (символ Леви-Чивита);

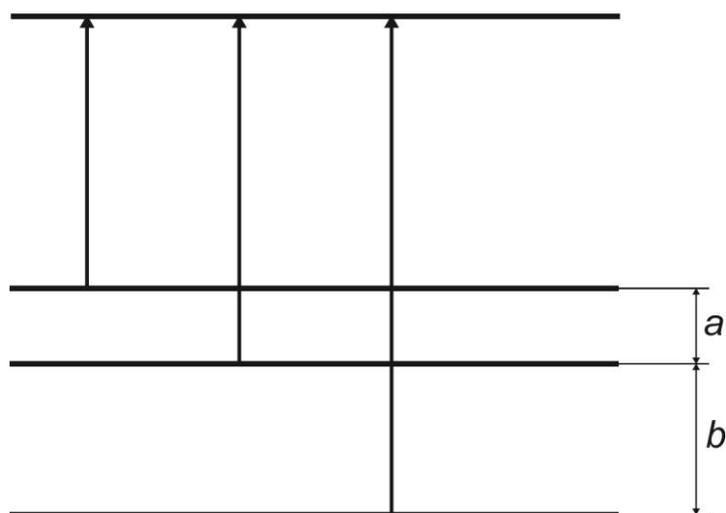
$l_{N\beta a}$  - константы форм колебаний;

$\mu_{\alpha\beta}$  - элементы матрицы обратных моментов инерции;

$J_{\alpha}$  - компоненты оператора полного углового момента [22,27].

### 2.3 Метод комбинационных разностей

Анализ спектра проводился методом комбинационных разностей. Рассматриваются вращательные уровни основного и возбуждённого колебательно-вращательных состояний. Согласно правилам отбора, имеется несколько переходов с вращательных уровней основного колебательного состояния на один и тот же уровень возбуждённого колебательного состояния (Рисунок 3). Как правило, структура основного колебательного состояния известна с высокой точностью, её можно определить из анализа микроволновых



спектров.

Рисунок 3 - Иллюстрация метода комбинационных разностей

Наша цель – отыскание энергии возбужденного колебательного состояния. Для того, чтобы найти ее нужно предположить на какое примерно расстояние она отстоит от соответствующей энергии невозбужденного состояния. Поскольку достаточно точно известны расстояния между вращательными уровнями основного колебательного состояния, можно сделать «линейку», расстояния между делениями которой будут соответствовать расстояниям между вращательными уровнями основного колебательного состояния ( $a$  и  $b$  на рисунке 3).

Допустим, мы составили «линейку» из трех делений. Будем двигать «линейку» по спектру. В спектре необходимо найти такие три линии, которые совпадут с делениями линейки (Рисунок 4). Зная положения нижних уровней, длины волн переходов, можно определить энергию верхнего уровня. Если будем

«линейку» двигать по спектру, то можем обнаружить ещё несколько линий, которые совпадут с делениями «линейки». Из числа выбранных таким образом линий нужно найти верную комбинацию. Описанный процесс является одним из способов интерпретацией линий.

Конечно, точное совпадение линий спектра с делениями линейки в процессе идентификации маловероятно. Поэтому задается точность поиска « $d$ ». Это значит, что при отклонении центра линии спектра от деления «линейки» на величину меньшую или равную « $d$ » линия попадает в выборку [27,30-31].

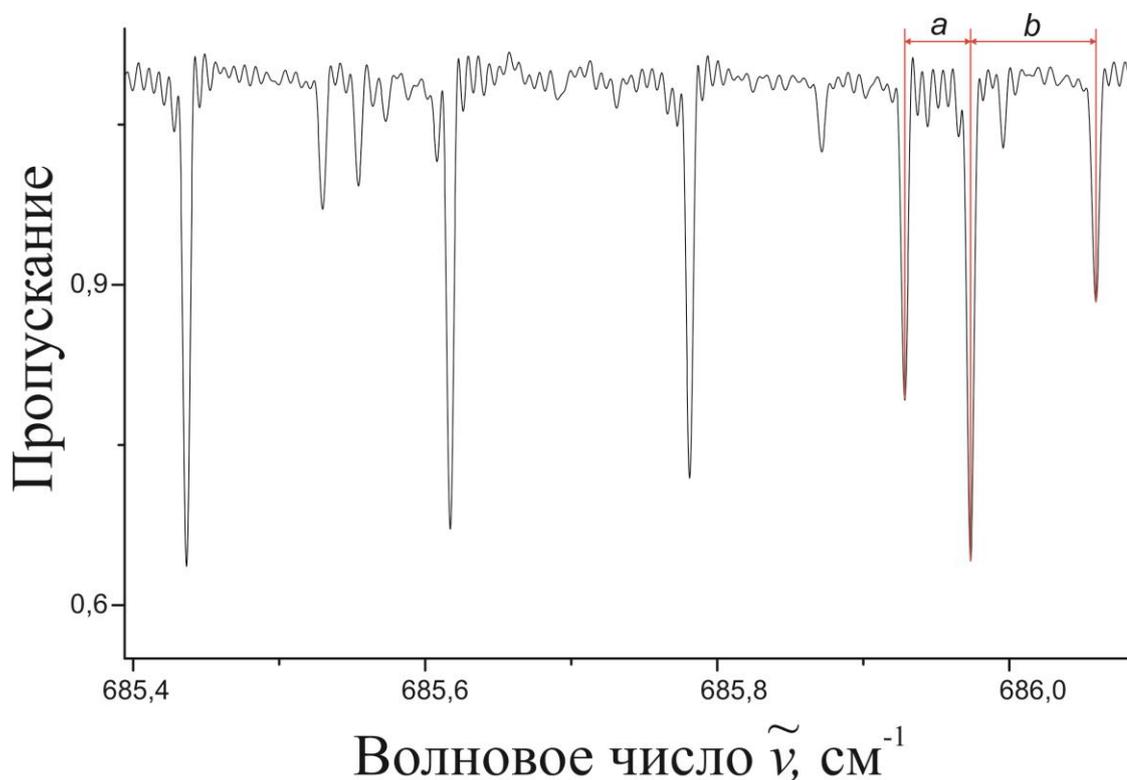


Рисунок 4 – «Линейка» движется по спектру

## 2.4 Принцип работы Фурье-спектрометра

Фурье-спектрометр представляет собой интерферометр Майкельсона, в который попадает исследуемое излучение, при этом одно из зеркал будет перемещаться с постоянной скоростью. Оптическая схема типичного интерферометра Майкельсона приведена на рисунке 5.

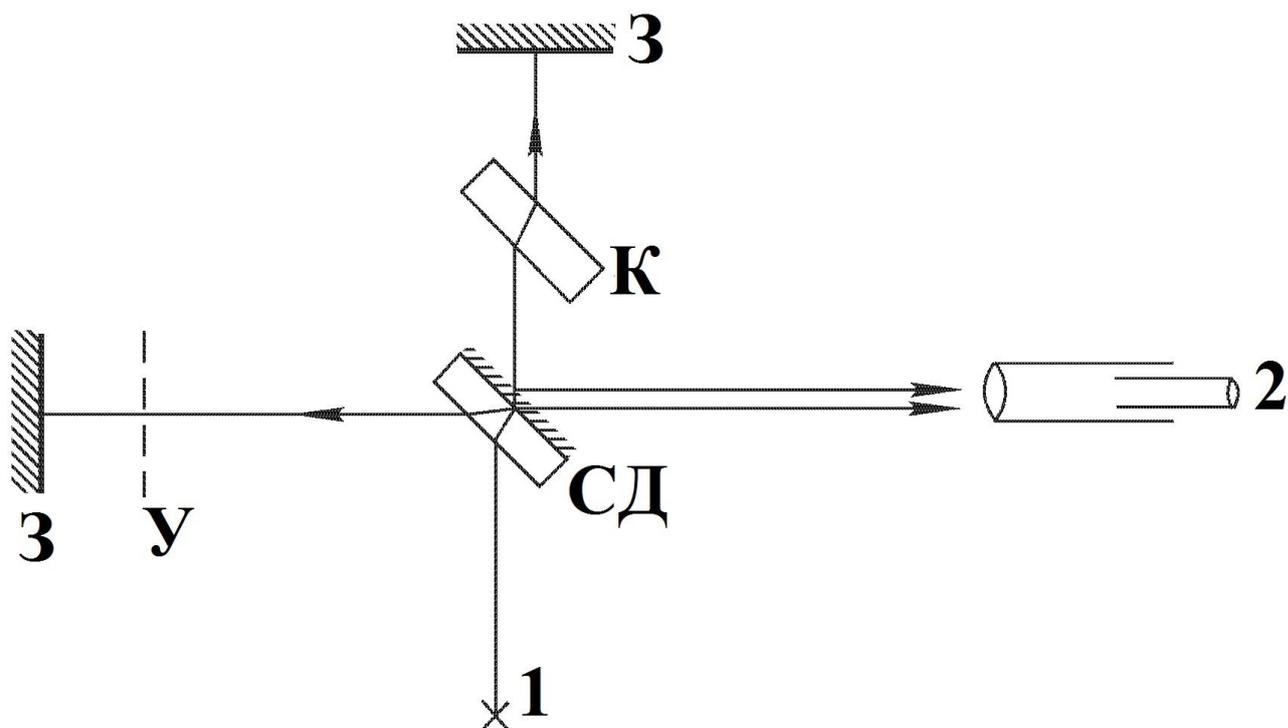


Рисунок 5 – Оптическая схема интерферометра

Исследуемый пучок света выходит из 1 – источника. З – зеркала расставлены так, чтобы после светоделителя – СД, - лучи накладывались друг на друга. К – компенсатор разности хода, вызванной тем, что один прошел через пластинку светоделителя один раз, а другой – три. Результат интерференции регистрируется в фотоприемнике – 2.

Фотоприемник связан через усилитель с АЦП (аналогово-цифровым преобразователем), который и преобразует аналоговый электрический сигнал в цифровую последовательность. Массив данных, полученный подобным образом, называется интерферограммой источника. Массив преобразуется на ЭВМ, где с помощью Фурье-преобразования вычисляется спектр в координатах положение зеркала – интенсивность сигнала. Интерферограмма снимается за рабочий цикл интерферометра – сканирование. Оно осуществляется путем перемещения одного из зеркал с помощью У – устройства изменения разности хода. Для того, чтобы связать зарегистрированный отсчет с определенной величиной разности хода и получить спектр в нужных координатах одновременно снимается опорная интерферограмма.

По мере движения зеркала на приемник попадает световой пучок, интенсивность которого в случае монохроматического источника меняется по косинусоидальному закону. Если в источник излучения добавить вторую частоту то результирующая зависимость в координатах “положение зеркала - интенсивность” будет представляться в виде суммы двух косинусоидальных волн и т. д. до бесконечного числа частот [28].

### 3 Применение теории изотопозамещения для оценки спектроскопических параметров взаимодействия выделенных состояний

В данной ВКР была выполнена численная оценка параметров эффективного гамильтониана, описывающих взаимодействия между исследуемыми состояниями. Для подобных расчетов постоянных резонансного взаимодействия обычно используется общая теория изотопозамещения [29].

Перечислим здесь некоторые следствия из теории изотопозамещения, справедливые для любой изотопической замены в многоатомных молекулах, необходимые для расчета спектроскопических параметров.

Первое следствие. Основываясь на связи между вращательными, трансляционными и колебательными координатами можно определить гармонические частоты изотопозамещенной молекулы,  $\omega'_c$ , как функции гармонических частот основной молекулы,  $\omega_a$ , с помощью набора коэффициентов  $A_{ab}$  или, наоборот, определить коэффициенты  $A_{ab}$  как функцию гармонических частот «материнской» и изотопозамещенной молекул:

$$\sum_a A_{ba} \omega_a^2 \alpha_{ac} = \alpha_{bc} \omega_c'^2, \quad (3.1)$$

где  $\alpha_{bc}$  – элементы матрицы, связывающей нормальные координаты материнской молекулы с нормальными координатами изотопозамещенной. Дополнительное условие, определяющее ортогональную матрицу  $A_{ab}$

$$A_{ab} = \sum_c \alpha_{ac} \alpha_{bc} \quad (3.2)$$

Второе следствие. Дополнительные уравнения для определения  $\alpha_{bc}$

$$A_{ab} = \delta_{ab} - \sum_{N\alpha} \frac{m'_N - m_N}{m'_N} l_{N\alpha a} l_{N\alpha b}, \quad (3.3)$$

где  $m_N$  и  $m'_N$  - массы атомов до и после изотопозамещения. Представленные выше соотношения (3.1-3.3), определяют коэффициенты  $A_{ab}$  через структурные постоянные, массы и  $l_{N\alpha a}$  -параметры основной модификации.

Третье следствие трансформационные коэффициенты изотопозамещенной молекулы могут быть записаны:

$$l'_{N\gamma a} = \sum_{ab} K_{a\gamma}^e \left(\frac{m_N}{m'_N}\right)^{1/2} l_{Nab} \alpha_{ab}^{-1} \quad (3.4)$$

Выражение (3.4) используется для  $l'_{N\gamma a}$ -параметров изотопозамещенной молекулы, с использованием параметров «материнской» молекулы. В данном уравнении  $K_{\alpha\gamma}^e$  является матрицей поворота координатных осей, соответствующих равновесной конфигурации при переходе от основной модификации к изотопозамещенной.

С помощью уравнений (3.1) — (3.4) можно рассчитать структурные постоянные  $l'_{N\gamma a}$  для любой изотопозамещенной молекулы. Для этого необходимо знать только массы и соответствующие постоянные  $l_{N\alpha b}$  исходной молекулы. Таким образом, с помощью представленных выше расчётов были численно получены значения всех трансформационных коэффициентов,  $l'_{N\gamma a}$  молекулы  $C_2H_3D$ , необходимых для дальнейшей работы, из которых по формуле (2.11) были получены  $\zeta_{ab}^\alpha$  кориолисовы постоянные, необходимые для определения резонансов [29-31].

## 4 Результаты анализа группы полос молекулы C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D в области 600-1250 см<sup>-1</sup>

### 4.1 Условия получения спектра поглощения на Фурье-спектрометре

Спектр высокого разрешения монодейтерированного этилена был получен на Фурье-спектрометре Bruker 120HR в диапазоне волновых чисел 600 – 1250 см<sup>-1</sup> (Рисунок 6) при комнатной температуре, использовался изотопически чистый образец CH<sub>2</sub>=CHD.

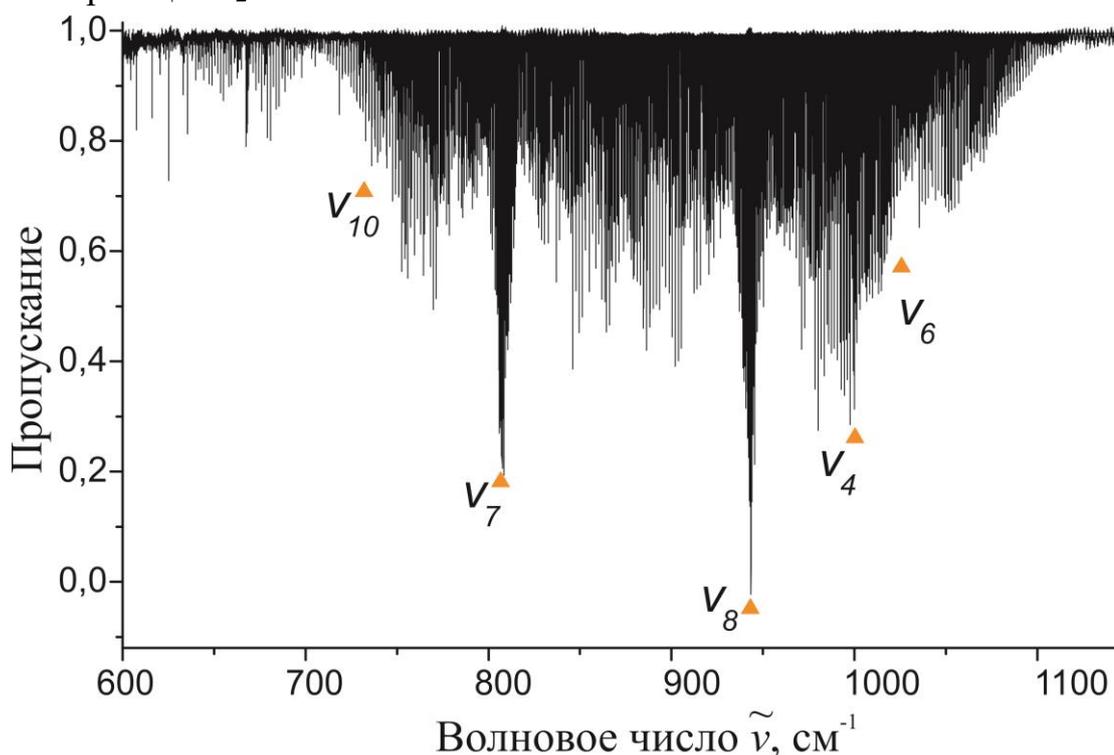


Рисунок 6 – Обзорный спектр высокого разрешения молекулы C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D в диапазоне 600 – 1250 см<sup>-1</sup>

Условия снятия спектра высокого разрешения при четырех измерениях указаны в таблице 3. Экспериментальная неопределенность положения линии спектра составила 2-3\*10<sup>-4</sup> см<sup>-1</sup>.

Таблица 3 – Условия эксперимента

Номер измерения	Диапазон, см <sup>-1</sup>	Длина оптического пути, м	Давление, мбар	Температура, К	Разрешение, см <sup>-1</sup>
I	600-1100	4	0,7	300	0,0021
II	600-1100	4	1,5	300	0,0021

III	580-1210	24	2,0	300	0,0021
IV	790-1570	24	3,0	300	0,0021

#### 4.2 Идентификация переходов спектра

В результате анализа спектра было проинтерпретировано около 6000 переходов из которых в последствии было получено 2111 уровней энергии возбужденного колебательно-вращательного состояния, использовавшихся при решении обратной задачи спектроскопии.

Таблица 4 – Статистическая информация по проинтерпретированным полосам молекулы C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D

	( $\nu_4=1$ )	( $\nu_6=1$ )	( $\nu_7=1$ )	( $\nu_8=1$ )	( $\nu_{10}=1$ )
$J^{max}/K_a^{max}$	35/11	33/11	31/6	32/11	29/12
Число переходов	1545	1289	758	1356	1144

#### 4.3 Анализ системы взаимодействующих состояний ( $\nu_4 = 1$ ), ( $\nu_6 = 1$ ), ( $\nu_7 = 1$ ), ( $\nu_8 = 1$ ), ( $\nu_{10} = 1$ )

Набор спектроскопических параметров (Таблица 5) полученный из решения обратной спектроскопической задачи воспроизводит данные исходного эксперимента с точностью до погрешности эксперимента ( $d_{rms} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ ).

Таблица 5 – Параметры диагонального блока матрицы эффективного гамильтониана молекулы C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D.

Параметр	Основное состояние	( $\nu_4 = 1$ )	( $\nu_6 = 1$ )	( $\nu_7 = 1$ )	( $\nu_8 = 1$ )	( $\nu_{10} = 1$ )
E		1000,03799 (2)	1125,27046 (3)	806,39133 (4)	943,59826 (2)	720,33763 (2)
A	4,00589	3,945711(2)	4,10385(6)	4,127257(1)	4,093097(4)	4,032485(2)
B	0,91632	0,91632(3)	0,92632(5)	0,925946(6)	0,954471(3)	0,916734(1)
C	0,74377	0,743773(4)	0,743773(2)	0,74936(3)	0,74221(5)	0,74057(4)

$\Delta_J * 10^5$	0,12941	0,130477(2)	0,15735(2)	0,14045(3)	0,11823(2)	0,13286(1)
$\Delta_{JK} * 10^5$	0,6023	0,61104(4)	0,420457(3)	0,6023	0,594304(4)	0,61015(4)
$\Delta_K * 10^4$	0,7069	0,721785(1)	0,795742(5)	0,720718(1)	0,6976512(4)	0,7158(2)
$\delta_J * 10^6$	0,2839	0,2839	0,2784(2)	0,262(4)	0,262(3)	0,2839
$\delta_K * 10^5$	0,789	0,789	0,873(2)	0,7881(2)	0,7904(9)	0,789
$H_J * 10^{11}$	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
$H_{JK} * 10^{10}$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
$H_{KJ} * 10^9$	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53
$H_K * 10^8$	0,7	0,726(4)	0,685(1)	0,718(1)	0,7	0,721(3)

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ31	Жданович Станислав Андреевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

**Тема дипломной работы: Анализ колебательно-вращательного спектра высокого разрешения и решение обратной спектроскопической задачи для системы взаимодействующих состояний инфракрасной области спектра молекулы  $C_2H_3D$ .**

<p><b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b></p> <p>1. Целью данной работы является анализ спектра поглощения высокого разрешения молекулы <math>C_2H_3D</math> в области <math>600-1250\text{ см}^{-1}</math>.</p> <p>2. Описание рабочего места на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, обеспечить комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шум);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (в связи с присутствием электричества для питания персональных компьютеров и освещенности лаборатории необходимо предусмотреть, если есть, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от электро- и пожароопасности);</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов: «черновые» листы бумаги, отработанные картриджи, принтеры и др. оргтехника);</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (необходимо обеспечить устойчивую работу при возникновении чрезвычайных ситуаций, характерных для Сибири – сильные морозы, диверсия).</li> </ul>
<p><b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b></p> <p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>а) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений</p> <p>б) приводятся данные по допустимым значениям шума на рабочем месте</p> <p>в) приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);</p> <p>г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем - индивидуальные защитные средства)</p> <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка; пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</p> <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</p> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> </ul> <p><i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i></p>
<p><b>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Пути эвакуации</li> <li>2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ	Федорчук Юрий Митрофанович	Доктор технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ31	Жданович Станислав Андреевич		

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

В лаборатории, где расположены рабочие места за персональными компьютерами могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) некомфортных метеоусловий; б) шума; в) недостаточной освещенности; г) электромагнитных полей.

#### **5.1.1 Метеоусловия**

Микроклимат на рабочем месте зависит от ряда многих факторов, в том числе таких, как теплофизические особенности технологического процесса и вида используемого оборудования, климат, сезон или период года, число работников, а также условий отопления и вентиляции, размеров и состояния производственного помещения и др. Микроклимат, особенно температура воздуха и тепловое излучение, может меняться на протяжении рабочего дня, быть различным на отдельных участках одного и того же помещения. Кроме этих параметров, являющихся основными, не следует забывать об атмосферном давлении, которое влияет на парциальное давление основных компонентов воздуха (кислорода и азота), а, следовательно, и на процесс дыхания.

Требования, предъявленные к воздуху, т.е. оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата в производственных помещениях для работ разной категории тяжести и в зависимости от периода года, представлены в санитарных нормах проектирования промышленных предприятий СН 245-71 и ГОСТ 12.11.005-88 ССБТ «Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны». В таблице 6 представлены оптимальные и допустимые параметры рабочей зоны для конкретной категории работ - 2а, т.е. работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей.

Таблица 6 – Оптимальные и допустимые параметры для рабочей зоны

Период года	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с		
	Оптим.	Допустимая				Оптим.	Допуст., не более	Оптим., не более	Допуст.
		Верхняя граница		Нижняя граница					
	Постоян.	Непостоян.	Постоян.	Непостоян.					
Холод.	22-23	21	23	19	17	40-60	15-75	0,2	0,1-0,3
Тепл.	23-25	23	27	20	18	40-60	15-75	0,3	0,2-0,4

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ( $\varphi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\varphi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, а также необходимо установить отопительную систему. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей. К средствам коллективной защиты можно отнести установки кондиционирования воздуха, основная задача которых поддерживать параметры воздуха в установленных пределах, для обеспечения надежной работы и комфортных условий для работников.

### 5.1.2 Шум

Для определения допустимого уровня шума на рабочих местах используется ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности», СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Согласно ГОСТ 12.1.003 - 83, нормируемой шумовой характеристикой рабочих мест при шуме являются уровни звуковых давлений в децибелах в октановых полосах. В таблице 7 приведены допустимые уровни звукового давления на рабочем месте.

Таблица 7 - Допустимы уровни звукового давления на рабочем месте

Вид деятельности	Частота, Гц							
	Уровень звукового давления, дБ							
	62	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, проектирование	71	61	54	49	45	42	40	38

В нашей научно-исследовательской лаборатории не находится никаких приборов и устройств, создающих шум, который может оказать влияние на здоровье. Так же в помещении отсутствует вентиляционная система, которая могла бы создавать дополнительные шумы. Лаборатория расположена среди учебных комнат, что означает, что в соседних комнатах так же отсутствует производственное оборудование.

В первую очередь следует использовать средства коллективной защиты. По отношению к источнику возбуждения шума коллективные средства защиты подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум *на пути его распространения* от источника до защищаемого объекта.

*Снижение шума в источнике* осуществляется за счет улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса. Средства, снижающие шум в источнике его возникновения в зависимости от характера шумообразования подразделяются на средства, снижающие шум механического

происхождения, аэродинамического и гидродинамического происхождения, электромагнитного происхождения.

Методы и средства коллективной защиты (СКЗ) в зависимости от способа реализации подразделяются на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно - технические и включают в себя:

- изменение направленности излучения шума;
- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
- акустическую обработку помещений;
- применение звукоизоляции.

К архитектурно-планировочным решениям также относится создание *санитарно-защитных зон* вокруг предприятий. По мере увеличения расстояния от источника уровень шума уменьшается. Поэтому создание санитарно-защитной зоны необходимой ширины является наиболее простым способом обеспечения санитарно-гигиенических норм вокруг предприятий.

Выбор ширины санитарно-защитной зоны зависит от установленного оборудования, например, ширина санитарно-защитной зоны вокруг крупных ТЭС может составлять несколько километров. Для объектов, находящихся в черте города, создание такой санитарно-защитной зоны порой становится неразрешимой задачей. Сократить ширину санитарно-защитной зоны можно уменьшением шума на путях его распространения.

Внутри здания тихие помещения необходимо располагать вдали от шумных так, чтобы их разделяло несколько других помещений или ограждение с хорошей звукоизоляцией.

*Снижение шума с помощью звукоизоляции.* Звукоизоляция относится к строительно-акустическим методам борьбы с шумом и состоит в том, что звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний частиц воздуха. В результате ограждающая конструкция сама становится источником звука, но интенсивность этого звука в сотни раз меньше интенсивности звука, падающего на преграду.

Методами звукоизоляции можно изолировать источник шума от рабочего пространства или изолировать помещение от шума, проникающего извне. Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума в виде стен, кабин, кожухов, экранов. Звукоизолирующие свойства ограждения, установленного на пути распространения звука, характеризуются величиной, называемой звукоизоляцией ограждения. Эффективность снижения шума звукоизоляцией определяется звукоизолирующими свойствами материала преграды, площадью, толщиной и массой преграды, отсутствием отверстий и щелей, частотой изолируемого звука. Чем больше масса конструкции, тем лучше ее изолирующие свойства, и чем выше частота изолируемого звука, тем больше эффект звукоизоляции при той же массе конструкции. При проектировании ограждающих конструкций, предназначенных для защиты от шума следует принимать наиболее эффективные по изоляции воздушного шума конструкции – *однослойные с пустотами или из бетонов на пористых заполнителях и ячеистых бетонов, или однослойные конструкции с тонкой облицовкой толщиной не более 1,5 см (сухая штукатурка и другие подобные материалы) с воздушным промежутком не менее 4 см.* Эффективным средством защиты работающих от шума оборудования является устройство звукоизолированных кабин и постов управления. Такие кабины представляют собой изолированные помещения, выполненные, как правило, из кирпича, бетона, шлакобетона или сборных металлических панелей. Одним из наиболее эффективных средств уменьшения шума оборудования является устройство *звукоизолирующих кожухов*, полностью закрывающих источник шума. Это позволяет значительно снизить шум в непосредственной близости к источнику. Кожухи могут быть съемными и разборными, иметь смотровые окна, открывающиеся двери, а также проемы для ввода коммуникаций. Стенки кожуха выполняются из *листовых негорючих или трудногорючих материалов (стали, дюралюминия, пластмасс).* Внутренняя поверхность кожуха обязательно должна облицовываться звукопоглощающими материалами толщиной 30,50 мм для

повышения его эффективности. Стенки кожуха не должны соприкасаться с изолируемой машиной. В ряде случаев достаточное снижение шума оборудования достигается применением акустических экранов, отгораживающих наиболее шумные агрегаты или участки от соседних рабочих мест. Снижение шума экранными глушителями происходит за счет отражения части звуковой энергии назад к источнику. Если длина звуковой волны меньше размеров экрана, то за экраном образуется "звуковая тень". Использование акустических экранов целесообразно, когда в расчетной точке уровень звукового давления прямого звука значительно выше, чем отраженного. Экраны изготавливают из *стальных или алюминиевых листов толщиной 1,5, 2 мм*. Листы облицовывают звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм. В акустически необработанных помещениях снижение уровня шума экраном составляет обычно не более 2,3 дБ. Эффективность экрана повышается при облицовке звукопоглощающими материалами, прежде всего, потолка помещения. Максимальная эффективность экранов на открытом воздухе 25 - 30 дБА.

Материалы, обладающие способностью в основном поглощать звуковую энергию, называются звукопоглощающими. В ряде случаев облицовка поверхности строительных конструкций осуществляется перфорированными листами из сравнительно плотных материалов (гипсокартон, асбестоцемент, металлические, пластмассовые листы), которые обеспечивают конструкциям, наряду со звукопоглощением, повышенную механическую прочность и декоративность. Звукоизоляционные материалы:

- с волокнистым каркасом (минераловатные, асбестовые, фибролит, древесноволокнистые, древесностружечные, войлок);
- ячеистые звукоизоляционные материалы, полученные методом вспучивания или пенным способом (ячеистые бетоны, пеностекло);
- звукоизоляционные материалы смешанной структуры, например акустические штукатурки, изготавливаемые с применением пористых заполнителей (вспученный перлит, вермикулит).

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удается.

Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя.

Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот.

СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

### **5.1.3 Освещенность**

Неудовлетворительное и некачественное освещение утомляет зрение, может стать причиной его снижения, реже слепоты. Плохо освещенные участки рабочего места могут стать причиной травматизма.

Источник естественного освещения - поток энергии солнца. Естественное освещение является наиболее гигиеничным. Однако по условиям зрительной работы в лаборатории естественного освещения, как правило, недостаточно, поэтому на рабочих местах оказывается задействованным и искусственное освещение. Оно может быть обеспечено с помощью люминесцентных ламп ЛВ (белого цвета) мощностью 20, 40, 80 Вт. Для рабочих мест с искусственным освещением регламентирована допустимая освещенность, согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 23-05-95.

«Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03» определяет наименьшую освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях в зависимости от вида производимой деятельности. В соответствии со СНиП 23-05-95 все зрительные работы делятся на 8 разрядов и зависимости от размера объекта различения и условий зрительной работы. Принимаем четвертый разряд зрительной работы

(средней точности). Допустимые значения наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях в соответствии со СИиП 23-0595 для четвертого разряда зрительной работы приведены в таблице 8. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Таблица 8 – Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении

Характер Зрительной работы	Наименьший размер объекта, мм	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различия с фоном	Характер фона	Освещенность, лк	
					Комбинированное	Общее
Средняя точность (4 разряд зрительной работы)	0,5-1,0	а	Малый	Темный	750	300
			б	Малый	Средний	500
		Средний		Темный	500	200
		в	Малый	Светлый	400	200
			Средний	Светлый	400	200
					Большой	Темный
Средний	Светлый				300	150
г	Большой			Светлый	300	150
	Большой			Средний	300	150

Согласно СНИП 23-05-95 газоразрядные лампы приняты в качестве основного источника света. Основными преимуществами таких ламп перед лампами накаливания являются высокая световая отдача - 40-110 лм/Вт, большой срок службы (до 8000-12000 ч), возможность получения светового потока практически с любым спектром. В частности, люминесцентные лампы, рекомендуемые для использования в производственных помещениях, обеспечивают достаточный уровень освещения, сохраняют зрение, снижают утомляемость, повышают работоспособность. С противоположной стороны,

пульсация светового потока, слепящее действие, а также возникновение стробоскопического эффекта - все следует учитывать при производственном процессе. Для уменьшения коэффициента пульсации люминесцентные лампы включают в разные фазы трехфазной электрической сети.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 5,3$  м, ширина  $B = 4,7$  м, высота =  $3,5$  м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 0,8$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:  $S = A * B = 24,91$  м<sup>2</sup>. Коэффициент отражения свежестроенных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежестроенного потолка  $\rho_{\Pi} = 70\%$ . Коэффициент запаса, соответствующий помещению с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина - 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой ОДОР лежит в диапазоне 1,1-1,3. Возьмем минимальное значение  $\lambda = 1,1$  и расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:  $h = H - h_{\text{рп}} - h_c = 2,4$  м.

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:  $L = \lambda h = 2,64$  м.

Число рядов светильников в помещении:  $Nb = B/L = 1,74 = 2$ .

Число светильников в ряду:  $Na = A/L = 2,01 = 2$ .

Однако помещение близко к квадратной форме, поэтому разумно добавить дополнительный светильник в середине помещения. Таким образом светильники будут расположены в шахматном порядке т.е. общее количество светильников будет равно  $N = 5$ .

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:  $l = L / 3 = 0,88$  м.

На рисунке 7 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

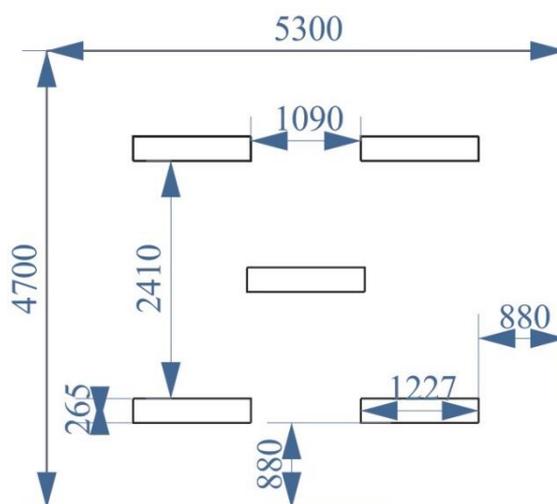


Рисунок 7 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A*B}{h(A+B)} = 1,04.$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\Pi} = 70\%$ ,  $\rho_{С} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,6$  равен  $\eta = 0,42$ .

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{EABK_3Z}{N\eta} = 2836 \text{ лм.}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} * 100\% \leq 20\%,$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} * 100\% = -9,07\%.$$

Таким образом необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

#### 5.1.4 Электромагнитные поля

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц.

Наличие в помещении нескольких компьютеров со вспомогательной аппаратурой и системой электропитания создает сложную картину электромагнитного поля. Очевидно, что электромагнитная обстановка в помещениях с компьютерами крайне сложная, распределение полей неравномерное, а уровни достаточно высоки, чтобы говорить об опасности их биологического действия. В таблице 9 приведены диапазоны возможных значений ЭМП.

Таблица 9 - Диапазоны возможных значений ЭМП, измеренных на рабочих местах пользователей ПК

	5 Гц - 2 кГц	2 - 400 кГц
Напряженность переменного электрического поля	1 - 35	0,1 - 1,1
Индукция переменного магнитного поля	6 - 770	1 - 32

По обобщенным данным, у работающих за монитором от 2 до 6 часов в сутки функциональные нарушения центральной нервной системы происходят в среднем в 4,6 раза чаще, чем в контрольных группах, болезни сердечнососудистой системы - в 2 раза чаще, болезни верхних дыхательных путей - в 1,9 раза чаще, болезни опорно-двигательного аппарата - в 3,1 раза чаще. С увеличением продолжительности работы на компьютере соотношения

здоровых и больных среди пользователей резко возрастает даже при кратковременной работе (45 минут) в организме пользователя под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга. Особенно ярко и устойчиво эти эффекты проявляются у женщин. Замечено, что у групп лиц (в данном случае это составило 20%) отрицательная реакция функционального состояния организма не проявляется при работе с ПК менее 1 часа. Исходя из анализа полученных результатов сделан вывод о возможности формирования специальных критериев профессионального отбора для персонала, использующего компьютер в процессе работы.

В целях обеспечения безопасности здоровья пользователей в Российской Федерации действуют Санитарные нормы и правила "Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронновычислительным машинам и организации работ" СанПиН 2.2.2.542-96. Цель Санитарных норм - определить такие нормированные величины факторов воздействия, чтобы их вред был минимальным, а условия труда - комфортными. Предельно допустимые уровни, генерируемого монитором электромагнитного поля и поверхностного электростатического потенциала установлены СанПиН 2.2.2.542-96 и приведены в таблице 10.

Таблица 10 – ПДУ электромагнитного поля монитора компьютера

Вид поля	Диапазон частот	Единица измерения	ПДУ
Магнитное	5 Гц-2 кГц	нТл	250
	2 - 400 кГц		25
Электрическое	5 Гц-2 кГц	В/м	25
	2 - 400 кГц		2,5

В основном из средств защиты предлагаются защитные фильтры для экранов мониторов. Они используются для ограничения действия на пользователя вредных факторов со стороны экрана монитора, улучшает

эргономические параметры экрана монитора и снижает излучение монитора в направлении пользователя.

Представленные на рынке защитные фильтры для экранов мониторов по назначению делятся на 2 основные группы:

- защитные фильтры улучшающие эргономические параметры дисплея и ослабляющие инфракрасное, ультрафиолетовое излучения, но не влияющие на электромагнитные параметры;
- защитные фильтры улучшающие эргономические параметры дисплея, ослабляющие инфракрасное, ультрафиолетовое излучения, ослабляющие электростатическое поле и переменное электрическое поле.

## **5.2 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды**

### **5.2.1 Электробезопасность**

Строгое выполнение организационных и технических мероприятий при проведении работ с электроустановками, очень важно в целях предупреждения электротравматизма, кроме этого используют средства защиты, к которым относятся: электрическая изоляция токоведущих частей, защитное заземление и отключение, электрическое разделение сети. Использование этих средств позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения к металлическим нетоковедущим частям, от шагового напряжения.

Преднамеренное соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказываться под напряжением, называют защитным заземлением (ГОСТ 12.1.009 - 2009). Чтобы защитить человека от поражения электрическим током, защитное заземление должно удовлетворять ряду требований, изложенных в ПУЭ и ГОСТ 12.1.030 – 81 “ССВТ.

Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”. Эти требования зависят от напряжения электроустановок и мощности источника питания. К средствам защиты относятся: электрическая изоляция токоведущих частей, защитное заземление и отключение, электрическое разделение сети.

Использование этих средств позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения к металлическим нетоковедущим частям, от шагового напряжения.

Особое внимание необходимо уделять защите от статического электричества. Для его снижения применяют специальное покрытие полов, которое выполнено из линолеума антистатического поливинилхлоридного. К другому методу защиты можно отнести нейтрализацию зарядов ионизированным воздухом.

Рабочая среда (сырость, высокая температура, токопроводящая пыль, едкие пары и газы, токопроводящие полы и т.д.) могут оказывать в той или иной степени оказывать воздействие - усиливать или уменьшать опасность поражения током. При проектировании способов и средств защиты от поражения электрическим током руководствуются безопасными значениями тока при данной длительности и пути его прохождения через тело в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82. При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в  $0,1 \text{ A}$ ,  $U < 36 \text{ В}$ ,  $R_{\text{зазем}} = 4 \text{ Ом}$ .

К электрозащитным средствам относятся:

*СКЗ от поражения электротоком:*

- изолирующие штанги всех видов (оперативные, измерительные, для наложения заземления);
- указатели напряжения всех видов (высокого, низкого) и классов напряжений (с газоразрядной лампой, бесконтактные, импульсного типа, с лампой накаливания и др.);
- бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения;
- защитные ограждения (щиты, ширмы, изолирующие накладки, колпаки);
- изолированный инструмент;

- указатели напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокола кабеля, устройство определения разности напряжений в транзите, указатели повреждения кабелей;
- предупредительная блокировка, изоляция токопроводящих частей, заземление, зануление, изолирующие коврики и дорожки, использование малых напряжений, электрическое разделение сетей, выравнивание потенциалов, защитное отключение;
- изолирующие лестницы, канаты, вставки телескопических вышек и подъемников; штанги для переноса и выравнивания потенциала; гибкие изолирующие покрытия и накладки.

*СИЗ от поражения электротоком:*

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- переносные заземления;
- диэлектрические галоши, изолирующие боты и перчатки, каски защитные диэлектрические, изолирующие подставки, ковры.

*Лаборатория* относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током (в которой отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность), поскольку – это помещение сухое, хорошо отапливаемое, с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40—50%. Заземление металлических нетокопроводящих частей обеспечивается присоединением вилки прибора к специальной розетке с заземляющим контактом. Имеется устройство защитного отключения. Защита от прямого прикосновения не требуется, поскольку отсутствуют электроустановки, а электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, и наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока.

Безопасные номиналы характеристик тока:

- Сила тока  $I = 0,1$  А,
- Напряжение  $U = 36$  В,

- Сопротивление заземления  $R_{\text{зазем}} = 4 \text{ Ом}$ .

### **5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы**

Источниками пожаровзрывоопасности в лаборатории могут быть любые электроприборы. При работе с электроприборами не исключено оплавление изоляционных проводов, их оголение, что влечет за собой короткое замыкание, перегрузку электронных схем, которые, перегреваясь, сгорают с разбрызгиванием искр.

По пожарной опасности помещения подразделяют на категории А, Б, В, Г, Д. Данная лаборатория согласно НПБ 105-03 относится к категории В, поскольку в помещении есть деревянные столы.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1 -й степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам электрического характера. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п. Не реже одного раза в квартал необходимо производить очистку от пыли агрегатов и узлов, кабельных каналов и межпольного пространства.

К первичным средствам пожаротушения при ликвидации пожара на ранней стадии относят: водопровод пожарный, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и др. В корпусе пожарные краны установлены в коридорах, на лестничных площадках, у входов. Ручные углекислотные огнетушители размещают в помещении.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

в) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;

г) курение в строго отведенном месте;

д) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Пожарная безопасность обеспечивается наличием огнетушителей:

– Огнетушитель углекислотный (ОУ-2). ОУ-2 предназначен для тушения загораний веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха, загораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 10 000 В, жидких и газообразных веществ (класс В,С,Е), загораний в архивах, музеях, картинных галереях. ОУ-2 не предназначен для тушения загорания веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий), химических веществ и их смесей, пиррофорных и полимерных материалов, а также других материалов, склонных к тлению внутри объема вещества и горению без доступа воздуха (хлопок, древесные опилки, травяная мука, пироксилин и т.п.). В качестве огнетушащего вещества применяют конденсированный диоксид углерода (СО<sub>2</sub>), при переходе углекислоты из твердого состояния в газообразное происходит увеличение её объема в 400-500 раз, сопровождаемое резким охлаждением до температуры - 72°С и частичной кристаллизацией. Эффект пламегашения достигается двояко: понижением температуры очага возгорания ниже точки воспламенения, и вытеснением кислорода из зоны горения негорючим углекислым газом.

– Огнетушитель химический водно-пенный (ОХВП-10). ОХВП-10 предназначен для тушения начальных загораний твердых веществ и легковоспламеняющихся жидкостей, за исключением щелочных металлов и веществ, горение которых происходит без доступа воздуха. Запрещается использовать огнетушитель ОХВП-10 для тушения загоревшихся электроустановок, находящихся под напряжением. Принцип действия огнетушителя основан на использовании огнетушащих свойств пены,

получаемой при смешении щелочной и кислотной части заряда. В результате реакции образуется углекислый газ, создающий в баллоне значительное давление, под которым пена выбрасывается через спрыск в виде струи. Для приведения огнетушителя в действие, открывают запорное устройство с помощью рукоятки, при повороте которой вверх до отказа клапан отходит от горловины кислотного стакана. После поворота рукоятки, переворачивают огнетушитель вверх дном. Для приведения его в действие каких-либо ударов не требуется. При тушении жидкостей, разлитых по поверхности, следует пеной покрывать всю горящую поверхность.

Согласно требованиям, в офисе необходимо вести журнал регистрации противопожарного инструктажа, инструкцию о мерах пожарной безопасности и инструкцию о порядке действий персонала при пожаре. Сотрудник, ответственный за пожарную безопасность, должен иметь аттестацию учебного центра МЧС.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 8).

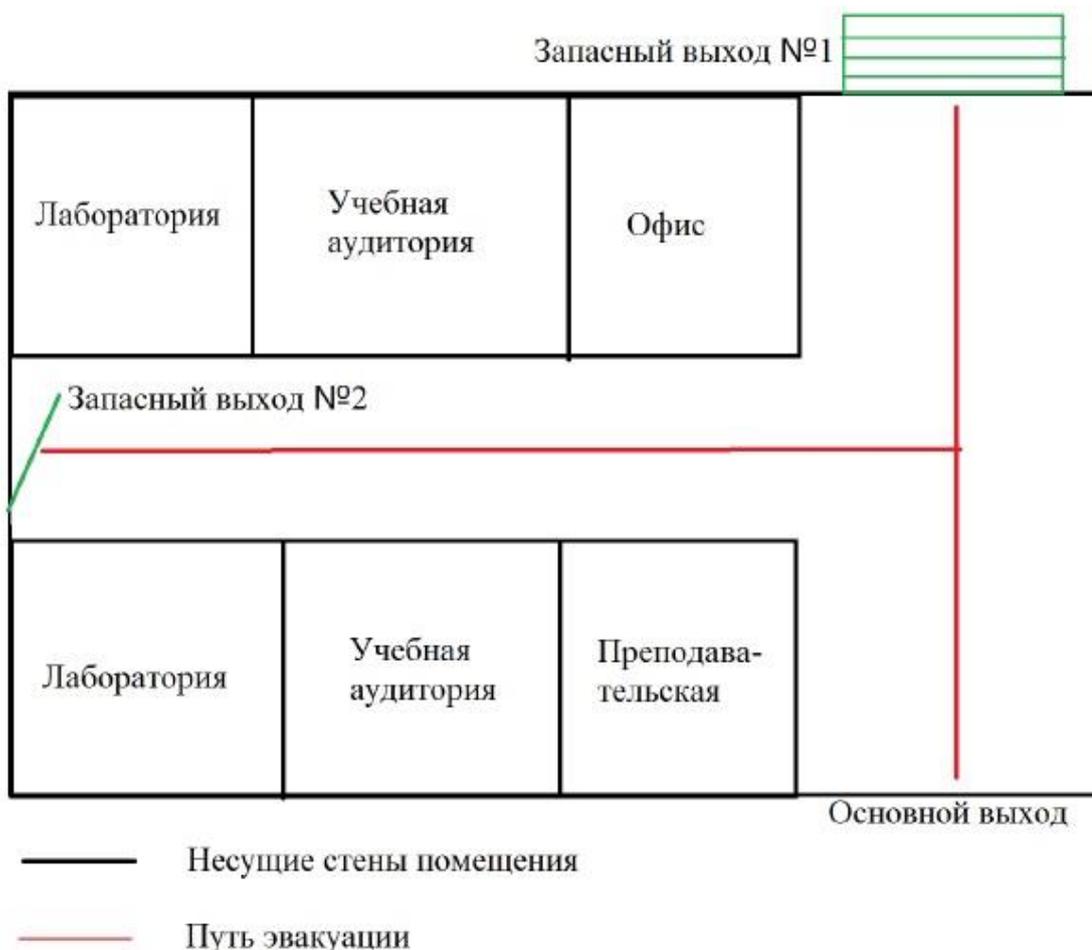


Рисунок 8 – План эвакуации из лаборатории

### 5.3 Охрана окружающей среды

Лаборатория является не производственной, а значит отсутствует производственный мусор (в том числе и пожароопасный, и вредный для окружающей среды). Тем не менее могут быть приняты следующие меры по сохранению окружающей среды: сортировка мусора и последующая утилизация.

Отходы, содержащие гальванические элементы (например, батарейки) собирает на переработку компания «Батарейки, сдавайтесь!», у которой расположены точки сбора по всему городу.

Макулатура (черновики, отработанная бумага и т.п.) будет собираться в размерах более одного килограмма и утилизироваться по адресу 634024, г. Томск, ул. Трудовая, 11 компанией ООО «Пирс». Предварительно макулатура должна быть отчищена от посторонних предметов, таких как, например, скрепки.

Компания ООО «Экоорг» осуществляет утилизацию отработанных картриджей от принтеров практически всех компаний. Предварительная обработка картриджей бывших в употреблении не требуется.

ООО Научно-производственное предприятие «ЭКОТОМ» осуществляет бесплатные сбор, обезвреживание и транспортировку опасных отходов отработанных люминесцентных ламп.

#### **5.4 Защита в ЧС**

Лаборатория расположена в городе Томск с континентально-циклоническим климатом и природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и несанкционированное проникновение на рабочее место.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы и метели. В результате порывов ветра могут быть обрывы линий электропитания, из-за чего возможны перебои в электроснабжении; перегрузки, которые могут стать причиной пожара. Для предотвращения подобных ситуаций необходима организация системы аварийного электропитания, по возможности проведение линии электроснабжения под землей. Низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные газовые обогреватели с катализатором. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Необходимо иметь суточный запас воды на складе, чтобы избежать обезвоживания персонала. В случае перебоев в расписании движения общественного транспорта должен быть предоставлен транспорт служебный.

Возможно несанкционированное проникновение на рабочее место. Угрозы могут быть как ложными, так и действительными, поэтому необходимы меры предосторожности по этому поводу. В качестве мер безопасности приняты следующие действия - установка системы видеонаблюдения и круглосуточной

охраны, сохранение конфиденциальной информации о охранной системе. Для защиты от несанкционированного проникновения также должна быть введена пропускная система. Необходимо так же проводить информирование должностных лиц и тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации. Помещение лаборатории закрывается на замок, ведется охрана вахтовым методом. В помещении установлена сигнализация.

### **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

1. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
2. ГОСТ 12.11.005-88. Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны.
3. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
5. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ.
8. ГОСТ 12.1.009 - 2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения
9. ГОСТ 12.1.030 - 81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
10. ГОСТ 12.1.038-82 (2001). Электробезопасность. Предельно допустимые значения прикосновения и токов.
11. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
12. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

## **Графические материалы**

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0Б31	Жданович Станислав Андреевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- стоимость расходных материалов (300 руб.) - стоимость расхода электроэнергии (3163 руб.) - норматив заработной платы (68971 руб.) - затраты на специальное оборудование (25000 руб.)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- норматив расхода электроэнергии (5,8 руб./кВт*ч)
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления во внебюджетные фонды (27,1%); - районный коэффициент (30%).

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- потенциальные потребители результатов исследования.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- структура работ в рамках научного исследования; - Диаграмма Исикавы; - определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; - бюджет научно-технического исследования.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Исикавы
3. График проведения и бюджет НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента ИСГТ ТПУ	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Жданович Станислав Андреевич		

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **6.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Результатом исследования является идентификация линий экспериментального спектра, а также набор спектроскопических параметров модели спектра поглощения молекулы  $C_2H_3D$ . Полученные данные будут использоваться для пополнения как российских, так и международных баз данных (NITRAN). Последние, в свою очередь, широко используются для решения многочисленных как теоретических, так и прикладных задач астрофизики, планетологии, атмосферной оптики, и т.д.

Сегментировать рынок услуг по анализу молекулярных спектров поглощения можно согласно таблице 11.

Таблица 11 – Карта сегментирования рынка услуг по анализу молекулярных спектров.

	Идентифицированные линии спектра	Спектроскопические параметры
Исследовательские центры университетов		
Научные центры		
Базы спектроскопических данных		

#### **6.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Альтернатив подобным исследованиям нет, поскольку других адекватных моделей не используется для описания молекулярных спектров поглощения в научном сообществе.

#### **6.1.2 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 12.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Второй этап заключается в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Использование интерактивной матрицы (таблица 13) помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B1C1C2C3; B2C1C2C3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта. В таблице факторы помечаются: соответствие сильных сторон возможностям знаком плюс «+»; слабое соответствие знаком минус «-»; если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-» - знак «0».

Таблица 12 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
--	--	---

	<p>С1. Моделирование с помощью МНК.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Уникальная, но широко распространенная модель.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований.</p> <p>Сл2 Длительный период обучения персонала.</p> <p>Сл3. Отсутствие доступа к коллективным исследованиям</p> <p>Сл4. Большой срок поставки эксперим. данных</p>
Возможности:		
<p>В1. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров</p> <p>В2. Использование научно-исследовательские достижений ТПУ</p> <p>В3. Ценовая стабильность на рынке товаров-конкурентов</p>		
Угрозы:		
<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

Таблица 13 - Интерактивная матрица работы

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
		В1	+	+	+

	B2	+	+	+	0
	B3	-	-	+	+

Третий этап включает в себя итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 14). Результаты SWOT- анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Приведённый анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований. При этом, если переход разработки в стадию коммерциализации затянется, то возможна потеря спроса на готовую технологию.

Таблица 14 - SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Моделирование с помощью МНК.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Уникальная, но широко распространенная модель.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований.</p> <p>Сл2. Длительный период обучения персонала.</p> <p>Сл3. Отсутствие доступа к коллективным исследованиям</p> <p>Сл4. Большой срок поставки эксперим. данных.</p>
--	--	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров В2. Использование научно-исследовательские достижений ТПУ</p> <p>В3. Ценовая стабильность на рынке товаров- конкурентов</p>	<p>Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров можно поддержать проводя моделирование с помощью широко известных методов и моделей а ценовая стабильность на рынке товаров- конкурентов обуславливается уникальностью модели .</p>	<p>Научно-исследовательские достижения ТПУ могут быть использованы при отсутствии необходимых экспериментальных данных и недостатке финансирования. Интерес зарубежных партнеров предоставляет доступ к коллективным исследования и доп. финансированию</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Бюджетное финансирование может быть прервано отсутствием спроса на новые технологии, ограничениями на экспорт и несвоевременным финансированием научного исследования.</p>	<p>Отсутствие необходимых экспериментальных данных и длительность периода исследований может привести к отсутствию спроса на новые технологии.</p>

### 6.1.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

На рисунке 9 рассмотрена проблема несовпадения смоделированного спектра с экспериментальным.

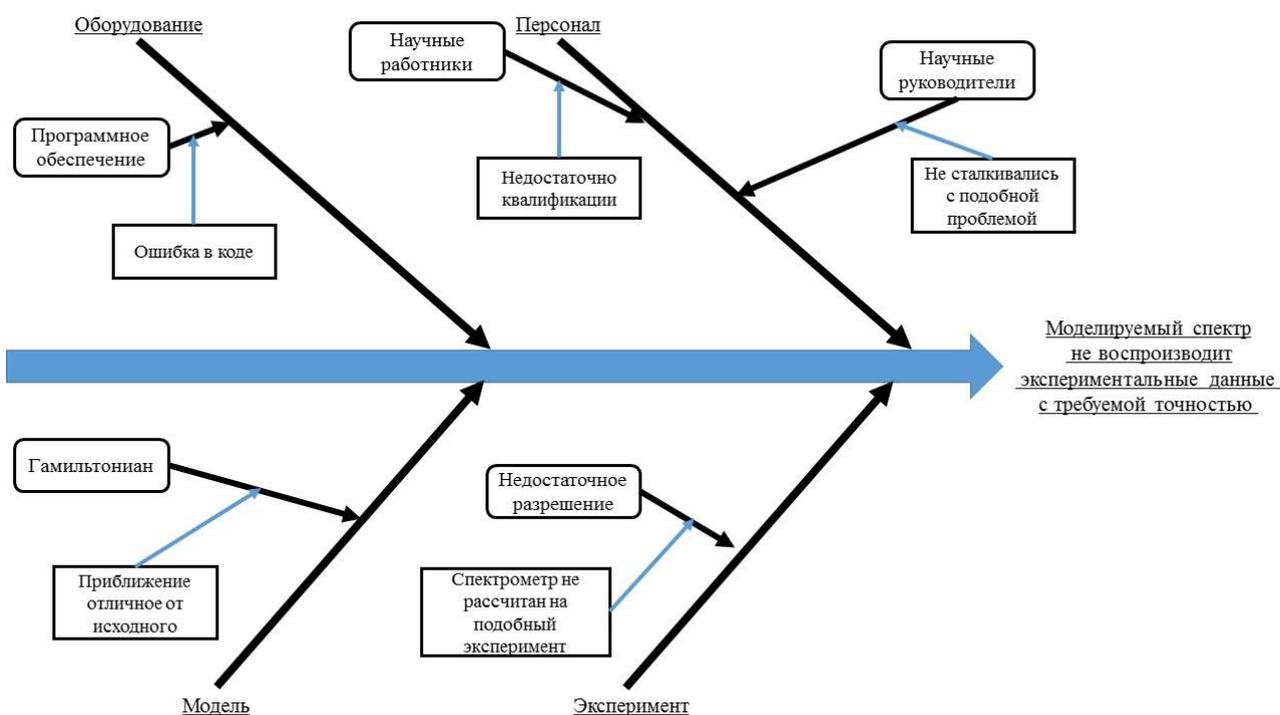


Рисунок 9 – Диаграмма Исикавы для проблемы возникающей при моделировании спектров

## 6.2. Инициация проекта

### Устав проекта

#### 1. Цели и результат проекта.

Таблица 15 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
<p>Информационно-вычислительная система "Спектроскопия атмосферных газов";</p> <p>HITRAN;</p> <p>GEISA</p>	<p>Идентификация переходов в спектре молекулы <math>C_2H_3D</math> в области <math>600-1250\text{ см}^{-1}</math>;</p> <p>Определение спектроскопических параметров эффективного гамильтониана, моделирующего переходы в спектре данной области</p>

Таблица 16 - Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Анализ спектра поглощения высокого разрешения молекулы $C_2H_3D$ в области 600-1250 $cm^{-1}$
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Идентификация переходов в спектре молекулы $C_2H_3D$ в области 600-1250 $cm^{-1}$ ; Определение резонансных параметров взаимодействия между полосами, расположенными в области 600-1250 $cm^{-1}$ ; Определение спектроскопических параметров эффективного гамильтониана, моделирующего переходы в спектре
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Получение спектроскопических параметров восстанавливающих исходные данные с погрешностью, не превышающей экспериментальную
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Идентификация переходов всех полос расположенных в области 600-1250 $cm^{-1}$
	Возможность восстановления экспериментального спектра с помощью полученных параметров

## 2. Организационная структура проекта.

Таблица 17 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Бехтерева Елена Сергеевна, Профессор кафедры общей	Руководитель	Постановка задачи, контроль выполнения работ	114

	физики ФТИ ТПУ			
2	Жданович Станислав Андреевич, студент гр. 0Б31 ТПУ	Исполнитель по проекту	Анализ спектра поглощения высокого разрешения молекулы C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> D в области 600- 1250 см <sup>-1</sup>	492
ИТОГО:				606

### 6.3. Планирование управления научно-техническим проектом

#### 6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований сформированна рабочая группа, для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательных действий составлен перечень работ (таблица 18).

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Студент
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, Студент

Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Студент
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, Студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент

### 6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается как:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5},$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы в чел.-дн.;

$t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Можно оценить продолжительность работ как:

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч},$$

где  $T_p$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

Ч – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Показатели трудоемкости можно найти в таблице 19.

Таблица 19 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож i}$ , чел-дни		
Составление и утверждение технического задания	1	11	5	Р, С	2

Подбор и изучение материалов по теме	12	39	23	С	23
Выбор направления исследований	3	16	8	Р, С	4
Календарное планирование работ по теме	3	12	7	Р, С	3
Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	11	6	С	6
Построение моделей и проведение экспериментов	15	47	28	С	28
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	3	12	7	Р, С	3
Оценка эффективности полученных результатов	3	16	8	Р, С	4
Определение целесообразности проведения ОКР	3	12	7	Р, С	3
Составление пояснительной записки	2	11	6	С	6

### 6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками  $T_{ki}$ , характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}},$$

где  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году,  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году,  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Исходя из таблицы 23  $k_{\text{кал}} = 1,22$ .

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ раб	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность														
				февр			март			апр			май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	Р, С	3	1														
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	28	1	2	3												
3	Выбор направления исследований	Р, С	5				1	2	3									
4	Календарное планирование работ по теме	Р, С	4				1	2	3									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С	7					1	2	3								
6	Построение моделей и проведение экспериментов	С	34							1	2	3						
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Р, С	4										1	2	3			
8	Оценка эффективности полученных результатов	Р, С	5											1	2	3		
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Р, С	4												1	2	3	
10	Составление пояснительной записки	С	7													1	2	3
Р, С		С		Р – руководитель, С – Студент														

### 6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

#### 1 Расчет материальных затрат НТИ

Работа полностью теоретическая, поэтому в материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Таблица 21 – Материальные затраты

Материал	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Бумага	Упаковка	0,5	200	100
Шариковые ручки	Шт.	5	40	200

Итого	300
-------	-----

## 2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для осуществления исследования по тематике данной ВКР необходимо наличие персонального компьютера или ноутбука.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер (ноутбук)	1	25	25
Итого:			25

## 3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата;  $Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p$$

где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата одного работника;  $T_p$  - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;  $Z_{дн}$  - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}$$

где  $Z_{\text{м}}$  - месячный должностной оклад работника, руб. (окладом студента выступает стипендия, 1750 руб.);  $M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 23).

Месячный должностной оклад

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}}$$

где  $Z_{\text{б}}$  - базовый оклад, руб;  $k_{\text{р}}$  - районный коэффициент, равный для Томска 1,3;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;  $k_{\text{д}}$  - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2.

Таблица 23 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Таблица 24 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	39 000	0,3	0,2	1,3	76050	3151	19	59 869
Студент	1750	-	-	1,3	2275	111	82	9102

Итого $Z_{\text{осн}}$	68 971
------------------------	--------

#### 4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 * 68971 \text{ руб.} = 18691 \text{ руб.}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

#### 5 Накладные расходы

В качестве накладных расходов выступают расходы на электроэнергию. Учитывая что тариф составляет 5,8 руб./(кВт\*ч), мощность оборудования (персональный компьютер) равна 0,9 кВт, а трудозатраты (таблица 19) – 606 ч, можем посчитать накладные расходы:  $5,8 * 606 * 0,9 = 3163 \text{ руб.}$

#### 6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 25.

Таблица 25 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	300
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	25000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68971
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	0
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18691
6. Накладные расходы	3163
7. Бюджет затрат НТИ	116125

#### **6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит путем сравнения значений интегральных показателей эффективности по всем вариантам исполнения. Поскольку существует единственный вариант исполнения, считаем его наиболее эффективным вариантом решения технической задачи.

## Заключение

1. В результате анализа спектра было проинтерпретировано порядка 8000 переходов, из которых получено 2989 уровней возбужденных колебательно-вращательных состояний использовавшихся при решении обратной задачи;

2. По теории изотопозамещения были получены параметры взаимодействия между полосами  $\nu_4$ ,  $\nu_6$ ,  $\nu_7$ ,  $\nu_8$ , и  $\nu_{10}$ , в качестве исходных использованы параметры молекулы  $C_2H_4$ ;

3. При решении обратной спектроскопической задачи получено около 50 спектроскопических параметров, восстанавливающих исходные данные с погрешностью, не превышающей экспериментальную ( $d_{rms} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ ).

## Список публикаций

1. Конов И.А., Чертавских Ю.В., Фомченко А.Л., Аслаповская Ю.С., Жданович С.А., Зидо К. Анализ фурье-спектра высокого разрешения полосы  $\nu_6$  молекулы cis-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>D<sub>2</sub> // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015;
2. Konov I.A., Chertavskikh Y.V., Fomchenko A.L., Aslapovskaya Y.S., Zhdanovich S.A., Sydow C. Analysis of The High-Resolution Fourier Spectrum of The  $\nu_6$  Band of The Cis-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>D<sub>2</sub> Molecule // Russian Physics Journal. - 2016 - Vol. 58 - №. 11. - p. 1587-1591.

## Список используемых источников

1. Бехтерева Е.С. Спектроскопия высокого разрешения и внутренняя динамика молекул: дис. ... док. ф-м наук / Е.С. Бехтерева. – Томск, 2008 – 310 с.
2. Герцберг Г. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул / Г. Герцберг. – Москва, 1965. – 648 с.
3. ИК-Фурье спектрометр IFS 125HR [Электронный ресурс] - URL: <https://www.bruker.com/ru/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/ft-ir-research-spectrometers/ifs-125hr/overview.html>, свободный (дата обращения: 16.05.2017)
4. SPECTRA [Электронный ресурс] - URL: <http://spectra.iao.ru/> свободный (дата обращения: 16.05.2017)
5. HITRAN [Электронный ресурс] - URL: <https://www.cfa.harvard.edu/hitran/> свободный (дата обращения: 16.05.2017)
6. GEISA [Электронный ресурс] - URL: <http://ether.ipsl.jussieu.fr/etherType/?id=950> свободный (дата обращения: 16.05.2017)
7. Бабилов Ю.Л., Барб А., Головки В.Ф., Михайленко С.Н., Тютюрев Вл.Г. Интернет-коллекции по молекулярной спектроскопии // Тр. RCDL. 2001. С. 183-187.
8. Жизнь вне Земли? [Электронный ресурс] - URL: <http://gordon0030.narod.ru/archive/8154/> свободный (дата обращения: 16.05.2017)
9. Атмосфера экзопланеты ГЖ 1214 Б / Н.П. Емец // Наука и мир – 2014. – Т. 1, №3. – С. 25-26.
10. Способ прямого пиролиза метана // Патент России № 2158747. 2000. / Генкин В.Н.; Генкин М.В.; Тынников Ю.Г.
11. Онопенко Г.А., Бехтерева Е.С., Сеницын К.А., Юрченко С.Н., Мельников В.В., Улеников О.Н. О некоторых проявлениях эффекта изотопозамещения в аксиально симметричных молекулах:  $\text{XN}_3$  -  $\text{XN}_2\text{D}$  // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14(2) - С. 134-136.

12. Быков А.Д., Макушкин Ю.С., Улеников О.Н. Изотопозамещение в многоатомных молекулах: учеб. Пособие / Быков А.Д. – Новосибирск: Наука, 1985. – 160 с.
13. Rothman L.S., Barbe A., Benner D.C., Brown L.R., Camy-Peyret C., Carleer M., et al. The HITRAN molecular spectroscopic database: edition of 2000 including updates through 2001 // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2003. – Vol. 82. – pp. 5 – 44.
14. Rothman L.S., Gordon I.E., Babikov Y., Barbe A., Benner D.C., Bernath P.F., et al. The HITRAN 2012 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 2013 – Vol. 130. – pp. 4 – 50.
15. Herbin P., Blanquet G., Walrand J., Courtoy C.P., Fayt A. Infrared Spectra of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D in the Region between 728 and 907 cm<sup>-1</sup> // J. Mol. Spectrosc. – 1982 – Vol. 93 – pp. 389 – 394.
16. Herbin P., Blanquet G., Walrand J., Courtoy C.P., Fayt A. Tunable Diode Laser Spectra of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D between 830 and 890 cm<sup>-1</sup> // J. Mol. Spectrosc. – 1984 – Vol. 104 – pp. 262 – 270.
17. Herbin P., Blanquet G., Walrand J., Courtoy C.P., Fayt A. Tunable Diode Laser Spectra of the Very Weak ν<sub>10</sub> Absorption Band of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D // J. Mol. Spectrosc. – 1987 – Vol. 122 – pp. 94 – 102.
18. Lebron G.B., Tan T.L. Improved rovibrational constants for the ν<sub>12</sub> band of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D // J. Mol. Spectrosc. – 2011 – Vol. 265 – pp. 55 – 57.
19. Duncan J. L., Ferguson A. M., Goodlad S. T. Local mode interpretation of the CH and CD stretching vibrational manifolds of isotopic ethylenes, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D and C<sub>2</sub>HD<sub>3</sub> // Spectrochimica Acta – 1993 – Vol. 49A, No.2 - pp. 149-160.
20. Herbin P., Blanquet G., Valentin A. Vibration-Rotation Analysis of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D from 725 to 1170 cm<sup>-1</sup> // J. Mol. Spectrosc. – 1988 – Vol. 127 – pp. 390 – 398.
21. Lebron G.B., Tan T.L. The high-resolution FTIR spectrum of the ν<sub>6</sub> band of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D // J. Mol. Spectrosc. – 2010 – Vol. 263 – pp. 160 – 165.

22. Watson J. Simplification of the molecular vibration-rotation Hamiltonian // *Molecular Physics*. – 1968. – Vol. 15. – № 5. – pp. 479 – 490.
23. Давыдов А.С. Квантовая механика: учеб. пособие // А.С. Давыдов – Москва «Наука», 1973. С. 9 – 372.
24. Соколов А.А. Квантовая механика: учеб. пособие // А.А. Соколов, И.М. Тернов, В.Ч. Жуковский – Москва «Наука», 1979. С. 8 – 456.
25. О. Н. Улеников Симметрия и ее применения к задачам колебательно-вращательной спектроскопии молекул // Ю. С. Макушкин, О. Н. Улеников, А. Е. Чеглоков – Томск «Издательство Томского университета», 1990. С. 5 – 150.
26. Любарский Г.Я. Теория групп и ее применение в физике: учеб. пособие // Г.Я. Любарский – Москва «Гос. Издат. Ф-м Лит.», 1958. С. 7 – 259.
27. Кривчикова Ю.В. Анализ спектра высокого разрешения взаимодействующих колебательных состояний  $\nu_1$  и  $\nu_3$  молекулы  $32S18O_2$ : дис. ... магистра физики / Ю.В. Кривчикова – Томск, 2015 – 70 с.
28. Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии.: учеб. пособие / Б.Н. Тарасевич – Москва, 2012. – 22 с.
29. Быков А.Д., Макушкин Ю.С., Улеников О.Н. Изотопозамещение в многоатомных молекулах / А.Д. Быков, Ю.С. Макушкин, О.Н. Улеников – Новосибирск «Наука», 1985. – 156 с.
30. Чертавских Ю.В. Изучение резонансного взаимодействия в многоатомной молекуле  $C_2H_2D_2$ -cis, основанное на высокоточных экспериментальных данных сильнорезонирующих полос  $\nu_{10}$ ,  $\nu_8$ ,  $\nu_7$ ,  $\nu_4$ ,  $\nu_6$ ,  $\nu_{12}$ ,  $2\nu_{10}$ : дис. ... магистра физики / Ю.В. Чертавских – Томск, 2016 – 98 с.
31. Каширина Н.В. Исследование колебательно-вращательного спектра высокого разрешения молекулы as- $C_2H_2D_2$  в диапазоне 600-1300 см<sup>-1</sup>: дис. ... магистра физики / Н.В. Каширина – Томск, 2016 – 110 с.

**Приложение А**  
**(Обязательное)**

Таблица А.1 – Колебательно-вращательная структура системы взаимодействующих полос  $\nu_4, \nu_6, \nu_7, \nu_8, \nu_{10}$

Е	J	Ка	Кс	Полоса	Е	J	Ка	Кс	Полоса
1000,03843	0	0	0	4					
1001,69612	1	0	1	4					
1005,00591	2	0	2	4					
1009,95285	3	0	3	4					
1016,517	4	0	4	4					
1024,67255	5	0	5	4					
1034,39049	6	0	6	4					
1045,64171	7	0	7	4					
1058,40084	8	0	8	4					
1072,64929	9	0	9	4					
1088,37343	10	0	10	4					
1105,56959	11	0	11	4					
1124,2348	12	0	12	4					
1144,36865	13	0	13	4					
1165,987	14	0	14	4					
1189,06596	15	0	15	4					
1213,62971	16	0	16	4					
1239,67272	17	0	17	4					
1267,19778	18	0	18	4					
1296,2043	19	0	19	4					
1326,6933	20	0	20	4					
1358,6662	21	0	21	4					
1392,16106	22	0	22	4					
1427,09757	23	0	23	4					
1463,51901	24	0	24	4					
1501,35305	25	0	25	4					
1540,72544	26	0	26	4					
1581,5026	27	0	27	4					
1623,8765	28	0	28	4					
1667,88205	29	0	29	4					
1713,14306	30	0	30	4					
1760,00994	31	0	31	4					
1808,20132	32	0	32	4					
1857,99435	33	0	33	4					
1909,404	34	0	34	4					
1962,09814	35	0	35	4					
1130,25623	2	0	2	4					

1135,21507	3	0	3	4					
1141,79254	4	0	4	4					
1149,96018	5	0	5	4					
1159,68766	6	0	6	4					
1170,94433	7	0	7	4					
1183,7017	8	0	8	4					
1197,9402	9	0	9	4					
1004,72643	1	1	1	4	1017,47322	2	2	1	4
1007,87326	2	1	2	4	1022,44767	3	2	2	4
1012,58938	3	1	3	4	1029,07478	4	2	3	4
1018,86958	4	1	4	4	1037,35009	5	2	4	4
1026,70726	5	1	5	4	1047,26708	6	2	5	4
1036,09683	6	1	6	4	1058,81919	7	2	6	4
1047,02869	7	1	7	4	1071,99835	8	2	7	4
1059,49604	8	1	8	4	1086,79521	9	2	8	4
1073,4912	9	1	9	4	1103,20022	10	2	9	4
1089,0065	10	1	10	4	1121,20238	11	2	10	4
1106,03611	11	1	11	4	1140,79091	12	2	11	4
1124,57343	12	1	12	4	1161,95407	13	2	12	4
1144,61953	13	1	13	4	1184,68054	14	2	13	4
1166,15191	14	1	14	4	1208,95923	15	2	14	4
1189,18563	15	1	15	4	1234,77949	16	2	15	4
1213,71202	16	1	16	4	1262,13147	17	2	16	4
1239,73255	17	1	17	4	1291,00538	18	2	17	4
1267,23609	18	1	18	4	1321,39851	19	2	18	4
1296,23137	19	1	19	4	1353,29091	20	2	19	4
1326,71117	20	1	20	4	1386,69032	21	2	20	4
1358,67791	21	1	21	4	1421,58544	22	2	21	4
1392,17337	22	1	22	4	1457,97522	23	2	22	4
1427,07757	23	1	23	4	1495,86037	24	2	23	4
1463,5276	24	1	24	4	1535,2498	25	2	24	4
1501,42127	25	1	25	4	1576,05231	26	2	25	4
1540,77258	26	1	26	4	1618,3858	27	2	26	4
1581,53516	27	1	27	4	1017,48	2	2	0	4
1623,8765	28	1	28	4	1022,48247	3	2	1	4
1667,89767	29	1	29	4	1029,17806	4	2	2	4
1713,14306	30	1	30	4	1037,58829	5	2	3	4
1760,01864	31	1	31	4	1047,73608	6	2	4	4
1808,20382	32	1	32	4	1059,64281	7	2	5	4
1857,99605	33	1	33	4	1073,32548	8	2	6	4
1909,40516	34	1	34	4	1088,79251	9	2	7	4
1962,09892	35	1	35	4	1106,04539	10	2	8	4
1004,89629	1	1	0	4	1125,07489	11	2	9	4
1008,38262	2	1	1	4	1145,8656	12	2	10	4

1013,60746	3	1	2	4	1168,40059	13	2	11	4
1020,56501	4	1	3	4	1192,65398	14	2	12	4
1029,24772	5	1	4	4	1218,59848	15	2	13	4
1039,6448	6	1	5	4	1246,20247	16	2	14	4
1051,74241	7	1	6	4	1275,40698	17	2	15	4
1065,52341	8	1	7	4	1306,26983	18	2	16	4
1080,96641	9	1	8	4	1338,64619	19	2	17	4
1098,04649	10	1	9	4	1372,5444	20	2	18	4
1116,73292	11	1	10	4	1407,92902	21	2	19	4
1136,99512	12	1	11	4	1444,77452	22	2	20	4
1158,79989	13	1	12	4	1483,06325	23	2	21	4
1182,11624	14	1	13	4	1522,788	24	2	22	4
1206,91848	15	1	14	4	1563,91213	25	2	23	4
1233,18775	16	1	15	4	1606,43249	26	2	24	4
1260,91182	17	1	16	4	1650,48156	27	2	25	4
1290,08624	18	1	17	4	1695,9414	28	2	26	4
1320,71109	19	1	18	4	1742,84782	29	2	27	4
1352,78908	20	1	19	4	1791,18232	30	2	28	4
1386,3248	21	1	20	4	1143,35785	2	2	0	4
1421,32367	22	1	21	4	1148,376	3	2	1	4
1457,78696	23	1	22	4	1155,09582	4	2	2	4
1495,72394	24	1	23	4	1162,53326	5	2	3	4
1535,15994	25	1	24	4	1143,35035	2	2	1	4
1575,98053	26	1	25	4	1148,3387	3	2	2	4
1618,34714	27	1	26	4	1154,98415	4	2	3	4
1662,18427	28	1	27	4	1163,28153	5	2	4	4
1038,02498	3	3	1	4	1066,45557	4	4	0	4
1044,67106	4	3	2	4	1066,45549	4	4	1	4
1052,98264	5	3	3	4	1074,76097	5	4	1	4
1062,96329	6	3	4	4	1074,76035	5	4	2	4
1074,61611	7	3	5	4	1084,73151	6	4	2	4
1087,94132	8	3	6	4	1084,73144	6	4	3	4
1102,93919	9	3	7	4	1096,3706	7	4	3	4
1119,6094	10	3	8	4	1096,37029	7	4	4	4
1137,94913	11	3	9	4	1109,6814	8	4	4	4
1157,9545	12	3	10	4	1109,68048	8	4	5	4
1179,61929	13	3	11	4	1124,66921	9	4	5	4
1202,93628	14	3	12	4	1124,66437	9	4	6	4
1227,89618	15	3	13	4	1141,3368	10	4	6	4
1254,48884	16	3	14	4	1141,3258	10	4	7	4
1282,70262	17	3	15	4	1159,69116	11	4	7	4
1312,52396	18	3	16	4	1159,66756	11	4	8	4
1343,94401	19	3	17	4	1179,73982	12	4	8	4
1376,946	20	3	18	4	1179,69285	12	4	9	4

1411,51839	21	3	19	4	1201,49215	13	4	9	4
1447,64852	22	3	20	4	1201,40412	13	4	10	4
1485,32493	23	3	21	4	1224,95826	14	4	10	4
1524,53735	24	3	22	4	1224,80269	14	4	11	4
1565,28112	25	3	23	4	1250,15282	15	4	11	4
1607,59898	26	3	24	4	1249,88954	15	4	12	4
1651,30618	27	3	25	4	1277,09213	16	4	12	4
1696,50631	28	3	26	4	1276,66404	16	4	13	4
1743,23758	29	3	27	4	1305,7959	17	4	13	4
1791,48044	30	3	28	4	1305,12324	17	4	14	4
1841,21366	31	3	29	4	1336,28448	18	4	14	4
1038,02509	3	3	0	4	1335,2655	18	4	15	4
1044,67174	4	3	1	4	1368,5789	19	4	15	4
1052,98763	5	3	2	4	1367,08306	19	4	16	4
1062,97857	6	3	3	4	1402,69667	20	4	16	4
1074,65303	7	3	4	4	1400,56909	20	4	17	4
1088,02149	8	3	5	4	1438,63854	21	4	17	4
1103,09799	9	3	6	4	1435,71713	21	4	18	4
1119,89989	10	3	7	4	1476,56958	22	4	18	4
1138,44651	11	3	8	4	1472,51482	22	4	19	4
1158,76012	12	3	9	4	1515,99145	23	4	19	4
1180,8627	13	3	10	4	1510,95065	23	4	20	4
1204,76965	14	3	11	4	1557,68105	24	4	20	4
1230,49603	15	3	12	4	1551,01191	24	4	21	4
1258,04452	16	3	13	4	1601,00005	25	4	21	4
1287,40966	17	3	14	4	1592,68846	25	4	22	4
1318,57782	18	3	15	4	1646,11148	26	4	22	4
1351,52691	19	3	16	4	1635,96065	26	4	23	4
1386,23102	20	3	17	4	1692,9825	27	4	23	4
1422,65896	21	3	18	4	1680,81842	27	4	24	4
1460,77602	22	3	19	4	1741,57444	28	4	24	4
1500,54505	23	3	20	4	1727,24637	28	4	25	4
1541,92582	24	3	21	4	1791,84758	29	4	25	4
1584,87729	25	3	22	4	1775,23231	29	4	26	4
1629,35847	26	3	23	4	1843,75682	30	4	26	4
1675,33068	27	3	24	4	1824,73308	30	4	27	4
1722,7639	28	3	25	4	1897,25533	31	4	27	4
1771,62858	29	3	26	4	1146,94167	6	6	0	4
1821,90827	30	3	27	4	1146,94167	6	6	1	4
1102,76393	5	5	0	4	1158,56364	7	6	1	4
1102,76393	5	5	1	4	1158,56364	7	6	2	4
1112,72734	6	5	1	4	1171,8493	8	6	2	4
1112,72732	6	5	2	4	1171,8493	8	6	3	4
1124,3549	7	5	2	4	1186,79979	9	6	3	4

1124,35481	7	5	3	4	1186,79978	9	6	4	4
1137,65043	8	5	3	4	1203,417	10	6	4	4
1137,65012	8	5	4	4	1203,41696	10	6	5	4
1152,61378	9	5	4	4	1221,70255	11	6	5	4
1152,61285	9	5	5	4	1221,70244	11	6	6	4
1169,24739	10	5	5	4	1241,65829	12	6	6	4
1169,24703	10	5	6	4	1241,658	12	6	7	4
1187,5649	11	5	6	4	1263,28664	13	6	7	4
1187,55325	11	5	7	4	1263,28595	13	6	8	4
1207,53928	12	5	7	4	1286,59348	14	6	8	4
1207,53853	12	5	8	4	1286,58926	14	6	9	4
1229,20317	13	5	8	4	1311,56803	15	6	9	4
1229,20154	13	5	9	4	1311,56784	15	6	10	4
1252,55266	14	5	9	4	1338,22736	16	6	10	4
1252,54631	14	5	10	4	1338,2265	16	6	11	4
1277,59018	15	5	10	4	1366,56894	17	6	11	4
1277,57724	15	5	11	4	1366,56816	17	6	12	4
1304,32183	16	5	11	4	1396,5957	18	6	12	4
1304,29757	16	5	12	4	1396,59402	18	6	13	4
1332,75349	17	5	12	4	1428,31475	19	6	13	4
1332,70922	17	5	13	4	1428,30804	19	6	14	4
1362,89329	18	5	13	4	1461,72015	20	6	14	4
1362,81644	18	5	14	4	1461,71416	20	6	15	4
1394,7503	19	5	14	4	1496,8345	21	6	15	4
1394,62067	19	5	15	4	1496,81439	21	6	16	4
1428,3355	20	5	15	4	1533,64792	22	6	16	4
1428,12362	20	5	16	4	1533,61239	22	6	17	4
1463,66253	21	5	16	4	1572,17046	23	6	17	4
1463,32622	21	5	17	4	1572,11049	23	6	18	4
1500,74683	22	5	17	4	1612,40954	24	6	18	4
1500,22831	22	5	18	4	1612,31126	24	6	19	4
1539,60744	23	5	18	4	1654,36224	25	6	19	4
1538,82745	23	5	19	4	1654,21835	25	6	20	4
1580,26468	24	5	19	4	1698,07232	26	6	20	4
1579,12101	24	5	20	4	1697,8317	26	6	21	4
1622,73849	25	5	20	4	1743,48747	27	6	21	4
1621,10367	25	5	21	4	1743,15278	27	6	22	4
1667,06393	26	5	21	4	1790,77789	28	6	22	4
1664,76872	26	5	22	4	1790,18106	28	6	23	4
1713,23355	27	5	22	4	1839,76475	29	6	23	4
1710,10725	27	5	23	4	1838,91463	29	6	24	4
1761,27653	28	5	23	4	1890,56412	30	6	24	4
1757,10944	28	5	24	4	1889,35169	30	6	25	4
1811,19269	29	5	24	4	1943,18445	31	6	25	4

1805,76482	29	5	25	4	1941,48448	31	6	26	4
1862,97606	30	5	25	4	1997,68868	32	6	26	4
1856,05791	30	5	26	4	1995,30845	32	6	27	4
1916,60806	31	5	26	4	2053,99586	33	6	27	4
1907,97771	31	5	27	4	2050,81698	33	6	28	4
1972,05837	32	5	27	4					
1961,50661	32	5	28	4					
2029,27221	33	5	28	4					
2016,62928	33	5	29	4					
2073,32648	34	5	30	4					
1198,98211	7	7	0	4	1258,87563	8	8	0	4
1212,26176	8	7	1	4	1273,81217	9	8	1	4
1227,20407	9	7	2	4	1290,41114	10	8	2	4
1243,81064	10	7	3	4	1308,67296	11	8	3	4
1262,08186	11	7	4	4	1328,5986	12	8	4	4
1282,0199	12	7	5	4	1350,18916	13	8	5	4
1303,62569	13	7	6	4	1373,44585	14	8	6	4
1326,90047	14	7	7	4	1398,3695	15	8	7	4
1351,84658	15	7	8	4	1424,96131	16	8	8	4
1378,46573	16	7	9	4	1453,22282	17	8	9	4
1406,75991	17	7	10	4	1483,15522	18	8	10	4
1436,73062	18	7	11	4	1514,76021	19	8	11	4
1468,3803	19	7	12	4	1548,03915	20	8	12	4
1501,71624	20	7	13	4	1582,99383	21	8	13	4
1536,73068	21	7	14	4	1619,62593	22	8	14	4
1573,44489	22	7	15	4	1657,93758	23	8	15	4
1611,83442	23	7	16	4	1697,93074	24	8	16	4
1651,91635	24	7	17	4	1739,60777	25	8	17	4
1693,71086	25	7	18	4	1782,97034	26	8	18	4
1737,18372	26	7	19	4	1828,0207	27	8	19	4
1782,36664	27	7	20	4	1874,76108	28	8	20	4
1829,26011	28	7	21	4	1923,19345	29	8	21	4
1877,8701	29	7	22	4	1973,3175	30	8	22	4
1928,20367	30	7	23	4	2025,12723	31	8	23	4
1980,26828	31	7	24	4	2078,61929	32	8	24	4
2034,0749	32	7	25	4	2133,82951	33	8	25	4
2089,65687	33	7	26	4	2190,75369	34	8	26	4
2147,03397	34	7	27	4	1258,87563	8	8	1	4
1198,98221	7	7	1	4	1273,81216	9	8	2	4
1212,26176	8	7	2	4	1290,41114	10	8	3	4
1227,2042	9	7	3	4	1308,67216	11	8	4	4
1243,81047	10	7	4	4	1328,59852	12	8	5	4
1262,08196	11	7	5	4	1350,18915	13	8	6	4
1282,01997	12	7	6	4	1373,44585	14	8	7	4

1303,62559	13	7	7	4	1398,36942	15	8	8	4
1326,90058	14	7	8	4	1424,96137	16	8	9	4
1351,84679	15	7	9	4	1453,22283	17	8	10	4
1378,46555	16	7	10	4	1483,1552	18	8	11	4
1406,75929	17	7	11	4	1514,76016	19	8	12	4
1436,72961	18	7	12	4	1548,03905	20	8	13	4
1468,37857	19	7	13	4	1582,99364	21	8	14	4
1501,7074	20	7	14	4	1619,6255	22	8	15	4
1536,7235	21	7	15	4	1657,93678	23	8	16	4
1573,42356	22	7	16	4	1697,92925	24	8	17	4
1611,81225	23	7	17	4	1739,60336	25	8	18	4
1651,89327	24	7	18	4	1782,96596	26	8	19	4
1693,66847	25	7	19	4	1828,01405	27	8	20	4
1737,14109	26	7	20	4	1874,75321	28	8	21	4
1782,31416	27	7	21	4	1923,14922	29	8	22	4
1829,19036	28	7	22	4	1973,28414	30	8	23	4
1877,77248	29	7	23	4	2025,0888	31	8	24	4
1928,06313	30	7	24	4	2078,66841	32	8	25	4
1980,06372	31	7	25	4					
2033,77544	32	7	26	4					
2089,19948	33	7	27	4					
2146,34023	34	7	28	4					
2205,20532	35	7	29	4					
1326,61128	9	9	0	4	1402,17655	10	10	0	4
1343,19992	10	9	1	4	1420,54145	11	10	1	4
1361,4499	11	9	2	4	1440,32796	12	10	2	4
1381,36202	12	9	3	4	1461,89541	13	10	3	4
1402,93688	13	9	4	4	1485,12488	14	10	4	4
1426,17569	14	9	5	4	1510,01724	15	10	5	4
1451,0788	15	9	6	4	1536,57269	16	10	6	4
1477,64767	16	9	7	4	1564,79221	17	10	7	4
1505,88323	17	9	8	4	1594,67671	18	10	8	4
1535,78652	18	9	9	4	1626,22671	19	10	9	4
1567,35861	19	9	10	4	1659,44354	20	10	10	4
1600,60076	20	9	11	4	1694,32773	21	10	11	4
1635,51458	21	9	12	4	1730,87998	22	10	12	4
1672,1017	22	9	13	4	1769,10296	23	10	13	4
1710,36285	23	9	14	4	1808,99593	24	10	14	4
1750,30079	24	9	15	4	1850,56058	25	10	15	4
1791,91587	25	9	16	4	1893,79726	26	10	16	4
1835,2092	26	9	17	4	1938,71066	27	10	17	4
1880,1837	27	9	18	4	1985,29794	28	10	18	4
1926,83878	28	9	19	4	2033,56119	29	10	19	4
1975,18992	29	9	20	4	2083,50386	30	10	20	4

2025,20722	30	9	21	4	2135,12626	31	10	21	4
1326,61128	9	9	1	4	2188,43063	32	10	22	4
1343,19992	10	9	2	4	2243,41885	33	10	23	4
1361,4499	11	9	3	4	2300,09172	34	10	24	4
1381,36202	12	9	4	4	2358,44932	35	10	25	4
1402,93688	13	9	5	4	1402,17655	10	10	1	4
1426,17569	14	9	6	4	1420,54145	11	10	2	4
1451,0788	15	9	7	4	1440,32796	12	10	3	4
1477,64767	16	9	8	4	1461,89541	13	10	4	4
1505,88323	17	9	9	4	1485,12488	14	10	5	4
1535,78652	18	9	10	4	1510,01724	15	10	6	4
1567,35861	19	9	11	4	1536,57269	16	10	7	4
1600,60076	20	9	12	4	1564,79221	17	10	8	4
1635,51458	21	9	13	4	1594,67671	18	10	9	4
1672,1017	22	9	14	4	1626,22671	19	10	10	4
1710,36285	23	9	15	4	1659,44354	20	10	11	4
1750,3	24	9	16	4	1694,32773	21	10	12	4
1791,91587	25	9	17	4	1730,87998	22	10	13	4
1835,209	26	9	18	4	1769,10296	23	10	14	4
1880,18332	27	9	19	4	1808,99593	24	10	15	4
1926,83802	28	9	20	4	1850,56058	25	10	16	4
1975,18724	29	9	21	4	1893,79726	26	10	17	4
2025,20324	30	9	22	4	1938,71063	27	10	18	4
					1985,29791	28	10	19	4
					2033,5611	29	10	20	4
					2083,50368	30	10	21	4
					2135,1261	31	10	22	4
					2188,43005	32	10	23	4
					2243,41837	33	10	24	4
					2300,08894	34	10	25	4
					2358,44781	35	10	26	4
1485,55837	11	11	0	4					
1505,45725	12	11	1	4					
1527,01641	13	11	2	4					
1550,23644	14	11	3	4					
1575,11747	15	11	4	4					
1601,66067	16	11	5	4					
1629,86563	17	11	6	4					
1659,73365	18	11	7	4					
1691,26555	19	11	8	4					
1724,46142	20	11	9	4					
1759,32208	21	11	10	4					
1795,84912	22	11	11	4					
1834,04174	23	11	12	4					

1873,90193	24	11	13	4
1915,43071	25	11	14	4
1958,62837	26	11	15	4
2003,49474	27	11	16	4
2050,02823	28	11	17	4
2098,24129	29	11	18	4
2148,12323	30	11	19	4
2199,67929	31	11	20	4
2252,90978	32	11	21	4
2307,81528	33	11	22	4
2364,39906	34	11	23	4
2422,65963	35	11	24	4
1485,55837	11	11	1	4
1505,45725	12	11	2	4
1527,01641	13	11	3	4
1550,23644	14	11	4	4
1575,11747	15	11	5	4
1601,66067	16	11	6	4
1629,86563	17	11	7	4
1659,73365	18	11	8	4
1691,26555	19	11	9	4
1724,46142	20	11	10	4
1759,32208	21	11	11	4
1795,84912	22	11	12	4
1834,04174	23	11	13	4
1873,90193	24	11	14	4
1915,43071	25	11	15	4
1958,62837	26	11	16	4
2003,49474	27	11	17	4
2050,02823	28	11	18	4
2098,24129	29	11	19	4
2148,12323	30	11	20	4
2199,67929	31	11	21	4
2252,90977	32	11	22	4
2307,81526	33	11	23	4
2364,39902	34	11	24	4
2422,65879	35	11	25	4
1125,27573	0	0	0	6
1126,93754	1	0	1	6
1130,25696	2	0	2	6
1135,21562	3	0	3	6
1141,79293	4	0	4	6
1149,9608	5	0	5	6
1159,6884	6	0	6	6

1170,9445	7	0	7	6					
1183,70198	8	0	8	6					
1197,94099	9	0	9	6					
1213,64898	10	0	10	6					
1230,82041	11	0	11	6					
1249,45426	12	0	12	6					
1269,55251	13	0	13	6					
1291,11633	14	0	14	6					
1314,1499	15	0	15	6					
1338,65517	16	0	16	6					
1364,63373	17	0	17	6					
1392,08752	18	0	18	6					
1421,01701	19	0	19	6					
1451,42321	20	0	20	6					
1483,30659	21	0	21	6					
1516,66694	22	0	22	6					
1551,50418	23	0	23	6					
1587,8175	24	0	24	6					
1625,61014	25	0	25	6					
1664,87107	26	0	26	6					
1705,61922	27	0	27	6					
1747,8397	28	0	28	6					
1791,5362	29	0	29	6					
1836,71252	30	0	30	6					
1883,35818	31	0	31	6					
1931,4693	32	0	32	6					
1981,059	33	0	33	6					
1130,12024	1	1	1	6	1143,35082	2	2	1	6
1133,26511	2	1	2	6	1148,33926	3	2	2	6
1137,97783	3	1	3	6	1154,98475	4	2	3	6
1144,25312	4	1	4	6	1163,28194	5	2	4	6
1152,08501	5	1	5	6	1173,22464	6	2	5	6
1161,46371	6	1	6	6	1184,80521	7	2	6	6
1172,38321	7	1	7	6	1198,01516	8	2	7	6
1184,83457	8	1	8	6	1212,84448	9	2	8	6
1198,80902	9	1	9	6	1229,28286	10	2	9	6
1214,29924	10	1	10	6	1247,31852	11	2	10	6
1231,29809	11	1	11	6	1266,93981	12	2	11	6
1249,79956	12	1	12	6	1288,13451	13	2	12	6
1269,79826	13	1	13	6	1310,89051	14	2	13	6
1291,28978	14	1	14	6	1335,19588	15	2	14	6
1314,27119	15	1	15	6	1361,03968	16	2	15	6
1338,7395	16	1	16	6	1388,411	17	2	16	6
1364,69135	17	1	17	6	1417,30092	18	2	17	6

1392,12665	18	1	18	6	1447,70067	19	2	18	6
1421,04394	19	1	19	6	1479,60386	20	2	19	6
1451,44102	20	1	20	6	1513,00372	21	2	20	6
1483,31694	21	1	21	6	1547,89588	22	2	21	6
1516,67398	22	1	22	6	1584,26178	23	2	22	6
1551,50903	23	1	23	6	1622,1386	24	2	23	6
1587,8217	24	1	24	6	1661,46482	25	2	24	6
1625,61295	25	1	25	6	1143,35811	2	2	0	6
1664,87295	26	1	26	6	1148,37669	3	2	1	6
1705,62047	27	1	27	6	1155,09628	4	2	2	6
1747,84053	28	1	28	6	1163,53932	5	2	3	6
1791,5362	29	1	29	6	1173,73073	6	2	4	6
1836,71252	30	1	30	6	1185,69341	7	2	5	6
1883,35818	31	1	31	6	1199,4448	8	2	6	6
1931,4693	32	1	32	6	1214,99397	9	2	7	6
1981,059	33	1	33	6	1232,3411	10	2	8	6
1130,30101	1	1	0	6	1251,47608	11	2	9	6
1133,80761	2	1	1	6	1272,38275	12	2	10	6
1139,06284	3	1	2	6	1295,04098	13	2	11	6
1146,06029	4	1	3	6	1319,42374	14	2	12	6
1154,7915	5	1	4	6	1345,50195	15	2	13	6
1165,24486	6	1	5	6	1373,24202	16	2	14	6
1177,40548	7	1	6	6	1402,60894	17	2	15	6
1191,25465	8	1	7	6	1433,56389	18	2	16	6
1206,76931	9	1	8	6	1466,06743	19	2	17	6
1223,92193	10	1	9	6	1500,08142	20	2	18	6
1242,68098	11	1	10	6	1535,57074	21	2	19	6
1263,01217	12	1	11	6	1572,50893	22	2	20	6
1284,88047	13	1	12	6	1610,88055	23	2	21	6
1308,25345	14	1	13	6	1650,67956	24	2	22	6
1333,10422	15	1	14	6	1691,90278	25	2	23	6
1359,41334	16	1	15	6	1734,55015	26	2	24	6
1387,16927	17	1	16	6	1778,61884	27	2	25	6
1416,36786	18	1	17	6					
1447,01023	19	1	18	6					
1479,09769	20	1	19	6					
1512,63738	21	1	20	6					
1547,63279	22	1	21	6					
1584,08903	23	1	22	6					
1622,00998	24	1	23	6					
1661,39724	25	1	24	6					
1702,25703	26	1	25	6					
1744,56425	27	1	26	6					
1788,37812	28	1	27	6					

1164,69577	3	3	0	6	1194,2281	4	4	0	6
1171,36243	4	3	1	6	1194,22808	4	4	1	6
1179,7035	5	3	2	6	1202,55778	5	4	1	6
1189,72615	6	3	3	6	1202,55769	5	4	2	6
1201,43942	7	3	4	6	1212,55882	6	4	2	6
1214,85374	8	3	5	6	1212,5585	6	4	3	6
1229,98502	9	3	6	6	1224,23387	7	4	3	6
1246,85188	10	3	7	6	1224,23286	7	4	4	6
1265,47564	11	3	8	6	1237,58657	8	4	4	6
1285,87934	12	3	9	6	1237,58386	8	4	5	6
1308,08563	13	3	10	6	1252,61991	9	4	5	6
1332,11348	14	3	11	6	1252,61632	9	4	6	6
1357,97465	15	3	12	6	1269,34341	10	4	6	6
1385,67251	16	3	13	6	1269,33135	10	4	7	6
1415,20008	17	3	14	6	1287,75932	11	4	7	6
1446,54124	18	3	15	6	1287,73327	11	4	8	6
1479,67307	19	3	16	6	1307,87701	12	4	8	6
1514,5664	20	3	17	6	1307,82546	12	4	9	6
1551,18743	21	3	18	6	1329,70655	13	4	9	6
1589,5007	22	3	19	6	1329,61034	13	4	10	6
1629,46474	23	3	20	6	1353,26014	14	4	10	6
1670,99393	24	3	21	6	1353,08874	14	4	11	6
1714,14233	25	3	22	6	1378,55266	15	4	11	6
1164,69523	3	3	1	6	1378,26386	15	4	12	6
1171,36114	4	3	2	6	1405,6026	16	4	12	6
1179,6983	5	3	3	6	1405,13264	16	4	13	6
1189,71004	6	3	4	6	1434,42923	17	4	13	6
1201,39872	7	3	5	6	1433,69328	17	4	14	6
1214,76584	8	3	6	6	1465,05614	18	4	14	6
1229,81175	9	3	7	6	1463,94203	18	4	15	6
1246,53561	10	3	8	6	1497,50618	19	4	15	6
1264,93395	11	3	9	6	1495,87272	19	4	16	6
1285,00286	12	3	10	6	1531,8	20	4	16	6
1306,73575	13	3	11	6	1529,47794	20	4	17	6
1330,12456	14	3	12	6	1567,94961	21	4	17	6
1355,15945	15	3	13	6	1564,7479	21	4	18	6
1381,82931	16	3	14	6	1605,96844	22	4	18	6
1410,12206	17	3	15	6	1601,67192	22	4	19	6
1440,02422	18	3	16	6	1645,84878	23	4	19	6
1471,52261	19	3	17	6	1640,23722	23	4	20	6
1504,60347	20	3	18	6	1687,60315	24	4	20	6
1539,25287	21	3	19	6	1680,42431	24	4	21	6
1575,45777	22	3	20	6	1722,23785	25	4	22	6
1613,20614	23	3	21	6					

1652,48852	24	3	22	6					
1693,27254	25	3	23	6					
1735,58974	26	3	24	6					
1231,94007	5	5	0	6	1277,81642	6	6	0	6
1231,94007	5	5	1	6	1277,81642	6	6	1	6
1241,93347	6	5	1	6	1289,47312	7	6	1	6
1241,93347	6	5	2	6	1289,47312	7	6	2	6
1253,59662	7	5	2	6	1302,79849	8	6	2	6
1253,59661	7	5	3	6	1302,79849	8	6	3	6
1266,93121	8	5	3	6	1317,79458	9	6	3	6
1266,93117	8	5	4	6	1317,79458	9	6	4	6
1281,941	9	5	4	6	1334,46248	10	6	4	6
1281,94088	9	5	5	6	1334,46248	10	6	5	6
1298,62693	10	5	5	6	1352,80441	11	6	5	6
1298,62661	10	5	6	6	1352,8044	11	6	6	6
1316,99252	11	5	6	6	1372,82229	12	6	6	6
1316,99173	11	5	7	6	1372,82226	12	6	7	6
1337,04109	12	5	7	6	1394,51829	13	6	7	6
1337,03927	12	5	8	6	1394,5182	13	6	8	6
1358,77606	13	5	8	6	1417,89476	14	6	8	6
1358,77215	13	5	9	6	1417,89465	14	6	9	6
1382,20263	14	5	9	6	1442,9545	15	6	9	6
1382,1959	14	5	10	6	1442,95428	15	6	10	6
1407,32499	15	5	10	6	1469,70017	16	6	10	6
1407,31079	15	5	11	6	1469,69974	16	6	11	6
1434,14864	16	5	11	6	1498,13574	17	6	11	6
1434,12213	16	5	12	6	1498,13349	17	6	12	6
1462,68137	17	5	12	6	1528,26363	18	6	12	6
1462,6326	17	5	13	6	1528,25863	18	6	13	6
1492,93083	18	5	13	6	1560,08753	19	6	13	6
1492,84613	18	5	14	6	1560,08021	19	6	14	6
1524,90668	19	5	14	6	1593,61189	20	6	14	6
1524,76431	19	5	15	6	1593,59882	20	6	15	6
1558,62132	20	5	15	6	1628,8422	21	6	15	6
1558,38927	20	5	16	6	1628,81884	21	6	16	6
1594,08886	21	5	16	6	1665,7831	22	6	16	6
1593,72111	21	5	17	6	1665,74316	22	6	17	6
1631,32643	22	5	17	6	1704,44119	23	6	17	6
1630,75979	22	5	18	6	1704,37335	23	6	18	6
1670,35258	23	5	18	6	1744,82373	24	6	18	6
1669,50348	23	5	19	6	1744,71503	24	6	19	6
1711,1924	24	5	19	6					
1709,94786	24	5	20	6					
1753,86611	25	5	20	6					

1752,08816	25	5	21	6					
1798,39591	26	5	21	6					
1795,91614	26	5	22	6					
1844,79889	27	5	22	6					
1841,42429	27	5	23	6					
1331,83923	7	7	0	6	1393,98789	8	8	0	6
1331,83923	7	7	1	6	1393,98789	8	8	1	6
1345,1584	8	7	1	6	1408,96892	9	8	2	6
1345,1584	8	7	2	6	1408,96892	9	8	1	6
1360,14576	9	7	2	6	1425,6174	10	8	2	6
1360,14576	9	7	3	6	1425,6174	10	8	3	6
1376,80239	10	7	3	6	1443,93406	11	8	4	6
1376,80239	10	7	4	6	1443,93406	11	8	3	6
1395,12963	11	7	4	6	1463,92005	12	8	4	6
1395,12963	11	7	5	6	1463,92005	12	8	5	6
1415,12873	12	7	5	6	1485,57642	13	8	6	6
1415,12873	12	7	6	6	1485,57642	13	8	5	6
1436,80125	13	7	6	6	1508,90428	14	8	6	6
1436,80125	13	7	7	6	1508,90428	14	8	7	6
1460,1488	14	7	7	6	1533,90488	15	8	8	6
1460,1488	14	7	8	6	1533,90488	15	8	7	6
1485,17328	15	7	8	6	1560,57953	16	8	8	6
1485,17328	15	7	9	6	1560,57952	16	8	9	6
1511,87649	16	7	9	6	1588,92964	17	8	10	6
1511,87648	16	7	10	6	1588,92964	17	8	9	6
1540,26051	17	7	10	6	1618,95674	18	8	10	6
1540,26048	17	7	11	6	1618,95675	18	8	11	6
1570,32741	18	7	11	6	1650,66256	19	8	12	6
1570,32735	18	7	12	6	1650,66256	19	8	11	6
1602,07962	19	7	12	6	1684,04863	20	8	12	6
1602,07951	19	7	13	6	1684,04862	20	8	13	6
1635,51942	20	7	13	6	1719,1167	21	8	14	6
1635,51921	20	7	14	6	1719,11672	21	8	13	6
1670,64965	21	7	14	6	1755,86852	22	8	14	6
1670,64927	21	7	15	6	1755,86846	22	8	15	6
1707,47381	22	7	15	6	1794,30683	23	8	16	6
1707,47191	22	7	16	6	1794,30689	23	8	15	6
1745,99347	23	7	16	6	1834,43318	24	8	16	6
1745,9897	23	7	17	6	1834,43309	24	8	17	6
1786,21601	24	7	17	6	1876,24903	25	8	18	6
1786,20699	24	7	18	6	1876,2492	25	8	17	6
1828,13736	25	7	18	6	1919,75714	26	8	18	6
1828,12679	25	7	19	6	1919,75684	26	8	19	6
1464,23756	9	9	0	6	1542,5681	10	10	0	6

1464,23756	9	9	1	6	1542,5681	10	10	1	6
1480,88118	10	9	2	6	1560,86979	11	10	2	6
1480,88118	10	9	1	6	1560,86979	11	10	1	6
1499,18989	11	9	2	6	1580,83736	12	10	2	6
1499,18989	11	9	3	6	1580,83736	12	10	3	6
1519,16567	12	9	4	6	1602,4716	13	10	4	6
1519,16567	12	9	3	6	1602,4716	13	10	3	6
1540,80983	13	9	4	6	1625,77323	14	10	4	6
1540,80983	13	9	5	6	1625,77323	14	10	5	6
1564,12272	14	9	6	6	1650,74274	15	10	6	6
1564,12272	14	9	5	6	1650,74274	15	10	5	6
1589,10727	15	9	6	6	1677,3808	16	10	6	6
1589,10727	15	9	7	6	1677,3808	16	10	7	6
1615,76036	16	9	8	6	1705,68794	17	10	8	6
1615,76036	16	9	7	6	1705,68794	17	10	7	6
1644,08785	17	9	8	6	1735,66473	18	10	8	6
1644,08785	17	9	9	6	1735,66473	18	10	9	6
1674,08434	18	9	10	6	1767,3137	19	10	10	6
1674,08434	18	9	9	6	1767,3137	19	10	9	6
1705,75759	19	9	10	6	1800,63437	20	10	10	6
1705,75759	19	9	11	6	1800,63437	20	10	11	6
1739,10561	20	9	12	6	1835,62682	21	10	12	6
1739,10561	20	9	11	6	1835,62682	21	10	11	6
1774,13006	21	9	12	6	1872,2933	22	10	12	6
1774,13006	21	9	13	6	1872,2933	22	10	13	6
1810,83441	22	9	14	6	1910,63427	23	10	14	6
1810,83441	22	9	13	6	1910,63427	23	10	13	6
1849,21461	23	9	14	6	1950,65177	24	10	14	6
1849,21461	23	9	15	6	1950,65177	24	10	15	6
1889,27723	24	9	16	6	1992,34535	25	10	16	6
1889,27723	24	9	15	6	1992,34535	25	10	15	6
1931,02061	25	9	16	6	2035,71817	26	10	16	6
1931,0206	25	9	17	6	2035,71817	26	10	17	6
1974,45077	26	9	18	6					
1974,45078	26	9	17	6					
2019,56499	27	9	18	6					
2019,56497	27	9	19	6					
1628,97134	11	11	0	6					
1628,97134	11	11	1	6					
1648,90696	12	11	2	6					
1648,90696	12	11	1	6					
1670,53192	13	11	2	6					
1670,53192	13	11	3	6					
1693,82274	14	11	4	6					

1693,82274	14	11	3	6
1718,77909	15	11	4	6
1718,77909	15	11	5	6
1745,40153	16	11	6	6
1745,40153	16	11	5	6
1773,69071	17	11	6	6
1773,69071	17	11	7	6
1803,64717	18	11	8	6
1803,64717	18	11	7	6
1835,27101	19	11	8	6
1835,27101	19	11	9	6
1868,56299	20	11	10	6
1868,56299	20	11	9	6
1903,52386	21	11	10	6
1903,52386	21	11	11	6
1940,15338	22	11	12	6
1940,15338	22	11	11	6
1978,45279	23	11	12	6
1978,45279	23	11	13	6
2018,42244	24	11	14	6
2018,42244	24	11	13	6
806,47117	0	0	0	7
808,14036	1	0	1	7
811,47183	2	0	2	7
816,45284	3	0	3	7
823,0575	4	0	4	7
831,26366	5	0	5	7
841,03954	6	0	6	7
852,35381	7	0	7	7
865,18106	8	0	8	7
879,50357	9	0	9	7
895,29939	10	0	10	7
912,57286	11	0	11	7
931,31824	12	0	12	7
951,53917	13	0	13	7
973,23648	14	0	14	7
996,41284	15	0	15	7
1021,07277	16	0	16	7
1047,21787	17	0	17	7
1074,84995	18	0	18	7
1103,97675	19	0	19	7
1134,59904	20	0	20	7
1166,74733	21	0	21	7
1200,36593	22	0	22	7

1235,50717	23	0	23	7					
1272,17603	24	0	24	7					
1310,35929	25	0	25	7					
1350,06873	26	0	26	7					
1391,31125	27	0	27	7					
1434,10785	28	0	28	7					
1478,44379	29	0	29	7					
1524,40069	30	0	30	7					
1571,88001	31	0	31	7					
811,51608	1	1	0	7	824,62963	2	2	0	7
815,03313	2	1	1	7	829,66568	3	2	1	7
820,30393	3	1	2	7	836,40768	4	2	2	7
827,32236	4	1	3	7	844,87712	5	2	3	7
836,08016	5	1	4	7	855,09973	6	2	4	7
846,56649	6	1	5	7	867,09675	7	2	5	7
858,76722	7	1	6	7	880,88435	8	2	6	7
872,66396	8	1	7	7	896,47475	9	2	7	7
888,2347	9	1	8	7	913,86637	10	2	8	7
905,45352	10	1	9	7	933,0518	11	2	9	7
924,28948	11	1	10	7	954,01282	12	2	10	7
944,71121	12	1	11	7	976,73468	13	2	11	7
966,67898	13	1	12	7	1001,18898	14	2	12	7
990,17677	14	1	13	7	1027,34552	15	2	13	7
1015,16222	15	1	14	7	1055,17577	16	2	14	7
1041,62199	16	1	15	7	1084,64111	17	2	15	7
1069,54565	17	1	16	7	1115,70165	18	2	16	7
1098,92825	18	1	17	7	1148,31564	19	2	17	7
1129,76154	19	1	18	7	1182,43767	20	2	18	7
1162,04735	20	1	19	7	1218,02586	21	2	19	7
1195,84565	21	1	20	7	1255,04839	22	2	20	7
1231,12131	22	1	21	7	1293,48921	23	2	21	7
1267,87624	23	1	22	7	1333,35943	24	2	22	7
1355,44271	24	1	23	7	1374,6778	25	2	23	7
1399,0686	25	1	24	7					
1444,27888	26	1	25	7					
1491,04195	27	1	26	7					
1539,3308	28	1	27	7					
1589,13623	29	1	28	7					
810,72007	1	1	1	7					
814,49888	2	1	2	7					
819,23546	3	1	3	7					
825,54225	4	1	4	7					
833,41493	5	1	5	7					
842,84193	6	1	6	7					

853,82205	7	1	7	7					
866,34133	8	1	8	7					
880,3932	9	1	9	7					
895,97155	10	1	10	7					
913,06861	11	1	11	7					
931,67795	12	1	12	7					
951,79379	13	1	13	7					
973,41398	14	1	14	7					
996,53414	15	1	15	7					
1021,15152	16	1	16	7					
1047,265	17	1	17	7					
1074,8501	18	1	18	7					
1104,011	19	1	19	7					
1134,63572	20	1	20	7					
1166,74916	21	1	21	7					
1200,38995	22	1	22	7					
1235,53056	23	1	23	7					
1272,18538	24	1	24	7					
1310,37115	25	1	25	7					
1350,09757	26	1	26	7					
1391,33939	27	1	27	7					
1434,12656	28	1	28	7					
1478,47692	29	1	29	7					
1524,38201	30	1	30	7					
1571,89661	31	1	31	7					
1620,98858	32	1	32	7					
846,04858	3	3	0	7	875,6731	4	4	0	7
852,73653	4	3	1	7	884,03052	5	4	1	7
861,10648	5	3	2	7	894,06299	6	4	2	7
871,16454	6	3	3	7	905,77649	7	4	3	7
882,91543	7	3	4	7	919,17335	8	4	4	7
896,37458	8	3	5	7	934,25799	9	4	5	7
911,55262	9	3	6	7	951,03453	10	4	6	7
928,46968	10	3	7	7	969,51058	11	4	7	7
947,14799	11	3	8	7	989,69726	12	4	8	7
967,6059	12	3	9	7	1011,59642	13	4	9	7
989,86724	13	3	10	7	1035,22531	14	4	10	7
1013,94809	14	3	11	7	1060,59351	15	4	11	7
1039,86921	15	3	12	7	1087,72208	16	4	12	7
1067,62325	16	3	13	7	1116,62627	17	4	13	7
1097,21172	17	3	14	7	1147,3269	18	4	14	7
1128,61777	18	3	15	7	1179,8469	19	4	15	7
1161,81877	19	3	16	7	1214,2035	20	4	16	7
1196,79158	20	3	17	7	1250,41263	21	4	17	7

1233,4985	21	3	18	7	1288,48367	22	4	18	7
1271,90623	22	3	19	7	1328,41119	23	4	19	7
1311,97796	23	3	20	7	1370,19008	24	4	20	7
					1413,81143	25	4	21	7
913,47897	5	5	0	7	959,43203	6	6	0	7
923,50151	6	5	1	7	971,11659	7	6	1	7
935,19892	7	5	2	7	984,46348	8	6	2	7
948,57626	8	5	3	7	999,46643	9	6	3	7
963,63692	9	5	4	7	1016,11549	10	6	4	7
980,37985	10	5	5	7	1034,40323	11	6	5	7
998,81248	11	5	6	7	1054,30952	12	6	6	7
1018,93629	12	5	7	7	1075,83075	13	6	7	7
1040,75565	13	5	8	7	1098,96234	14	6	8	7
1064,27313	14	5	9	7	1123,71351	15	6	9	7
1089,49401	15	5	10	7	1150,09161	16	6	10	7
1116,4231	16	5	11	7	1178,10605	17	6	11	7
1145,06565	17	5	12	7	1207,76156	18	6	12	7
1175,42474	18	5	13	7	1239,06672	19	6	13	7
1207,51506	19	5	14	7					
1241,34128	20	5	15	7					
1276,91792	21	5	16	7					
1314,25417	22	5	17	7					
1353,3715	23	5	18	7					
1394,28771	24	5	19	7					
945,15758	1	0	1	8					
948,4629	2	0	2	8					
953,40372	3	0	3	8					
959,96087	4	0	4	8					
968,10909	5	0	5	8					
977,81988	6	0	6	8					
989,06642	7	0	7	8					
1001,8209	8	0	8	8					
1016,06747	9	0	9	8					
1031,79113	10	0	10	8					
1048,98796	11	0	11	8					
1067,65372	12	0	12	8					
1087,79174	13	0	13	8					
1109,4056	14	0	14	8					
1132,4956	15	0	15	8					
1157,06236	16	0	16	8					
1183,11199	17	0	17	8					
1210,64255	18	0	18	8					
1239,65367	19	0	19	8					
1270,15148	20	0	20	8					

1302,1318	21	0	21	8					
1335,59567	22	0	22	8					
1370,54273	23	0	23	8					
1406,99194	24	0	24	8					
1444,91112	25	0	25	8					
948,17702	1	1	1	8	960,8806	2	2	1	8
951,32453	2	1	2	8	965,84812	3	2	2	8
956,03729	3	1	3	8	972,46633	4	2	3	8
962,31321	4	1	4	8	980,73085	5	2	4	8
970,14851	5	1	5	8	990,6351	6	2	5	8
979,53393	6	1	6	8	1002,17305	7	2	6	8
990,46315	7	1	7	8	1015,33678	8	2	7	8
1002,92862	8	1	8	8	1030,11697	9	2	8	8
1016,92148	9	1	9	8	1046,50448	10	2	9	8
1032,43547	10	1	10	8	1064,48927	11	2	10	8
1049,46397	11	1	11	8	1084,05966	12	2	11	8
1068,00124	12	1	12	8	1105,20521	13	2	12	8
1088,04255	13	1	13	8	1127,91515	14	2	13	8
1109,58283	14	1	14	8	1152,17695	15	2	14	8
1132,61992	15	1	15	8	1177,98167	16	2	15	8
1157,15042	16	1	16	8	1205,3193	17	2	16	8
1183,17222	17	1	17	8	1234,18025	18	2	17	8
1210,68396	18	1	18	8	1264,55772	19	2	18	8
1239,68408	19	1	19	8	1296,44383	20	2	19	8
1270,1713	20	1	20	8	1329,83302	21	2	20	8
1302,14473	21	1	21	8	1364,7206	22	2	21	8
1335,60458	22	1	22	8	1401,10253	23	2	22	8
1370,54874	23	1	23	8	1438,97559	24	2	23	8
1406,9779	24	1	24	8	1478,33625	25	2	24	8
1444,89019	25	1	25	8	1519,18388	26	2	25	8
1484,28751	26	1	26	8	960,88717	2	2	0	8
1525,16202	27	1	27	8	965,88166	3	2	1	8
1567,52704	28	1	28	8	972,56635	4	2	2	8
1611,37006	29	1	29	8	980,96162	5	2	3	8
1656,6926	30	1	30	8	991,08959	6	2	4	8
1703,49782	31	1	31	8	1002,97127	7	2	5	8
1751,78413	32	1	32	8	1016,6238	8	2	6	8
1801,54913	33	1	33	8	1032,05582	9	2	7	8
1852,78548	34	1	34	8	1049,26885	10	2	8	8
1905,50853	35	1	35	8	1068,25421	11	2	9	8
1959,71862	36	1	36	8	1088,99926	12	2	10	8
948,34384	1	1	0	8	1111,48452	13	2	11	8
951,82228	2	1	1	8	1135,68708	14	2	12	8
957,03547	3	1	2	8	1161,58095	15	2	13	8

963,97862	4	1	3	8	1189,13722	16	2	14	8
972,64311	5	1	4	8	1218,32284	17	2	15	8
983,01936	6	1	5	8	1249,1034	18	2	16	8
995,09357	7	1	6	8	1281,4429	19	2	17	8
1008,84912	8	1	7	8	1315,29614	20	2	18	8
1024,26544	9	1	8	8	1350,65088	21	2	19	8
1041,31863	10	1	9	8	1387,47993	22	2	20	8
1059,97985	11	1	10	8	1425,73622	23	2	21	8
1080,21807	12	1	11	8	1465,46623	24	2	22	8
1102,0016	13	1	12	8	1506,59375	25	2	23	8
1125,2998	14	1	13	8	1549,15768	26	2	24	8
1150,08679	15	1	14	8					
1176,34419	16	1	15	8					
1204,05928	17	1	16	8					
1233,22644	18	1	17	8					
1263,84551	19	1	18	8					
1295,91842	20	1	19	8					
1329,44954	21	1	20	8					
1364,44333	22	1	21	8					
1400,90336	23	1	22	8					
981,36664	3	3	1	8	1009,71174	4	4	1	8
988,00283	4	3	2	8	1018,00461	5	4	2	8
996,30312	5	3	3	8	1027,9616	6	4	3	8
1006,26926	6	3	4	8	1039,58406	7	4	4	8
1017,90459	7	3	5	8	1052,87477	8	4	5	8
1031,20984	8	3	6	8	1067,83668	9	4	6	8
1046,18547	9	3	7	8	1084,47331	10	4	7	8
1062,83067	10	3	8	8	1102,78698	11	4	8	8
1081,14302	11	3	9	8	1122,78146	12	4	9	8
1101,11897	12	3	10	8	1144,4585	13	4	10	8
1122,7524	13	3	11	8	1167,81963	14	4	11	8
1146,03608	14	3	12	8	1192,86634	15	4	12	8
1170,96173	15	3	13	8	1219,59733	16	4	13	8
1197,51921	16	3	14	8	1248,0114	17	4	14	8
1225,69746	17	3	15	8	1278,10469	18	4	15	8
1255,48448	18	3	16	8	1309,87191	19	4	16	8
1286,8682	19	3	17	8	1343,30738	20	4	17	8
1319,83546	20	3	18	8	1378,40128	21	4	18	8
1354,37277	21	3	19	8	1415,14409	22	4	19	8
1390,46325	22	3	20	8	1453,52337	23	4	20	8
1428,14106	23	3	21	8	1493,52056	24	4	21	8
1467,31554	24	3	22	8	1009,71174	4	4	0	8
1508,00607	25	3	23	8	1018,00461	5	4	1	8
1550,23189	26	3	24	8	1027,9616	6	4	2	8

981,36585	3	3	0	8	1039,58406	7	4	3	8
988,0031	4	3	1	8	1052,87477	8	4	4	8
996,30751	5	3	2	8	1067,83668	9	4	5	8
1006,28406	6	3	3	8	1084,47331	10	4	6	8
1017,93839	7	3	4	8	1102,8095	11	4	7	8
1031,28648	8	3	5	8	1122,82533	12	4	8	8
1046,33698	9	3	6	8	1144,53677	13	4	9	8
1063,10756	10	3	7	8	1167,96613	14	4	10	8
1081,61749	11	3	8	8	1193,11377	15	4	11	8
1101,88772	12	3	9	8	1220,00019	16	4	12	8
1123,93927	13	3	10	8	1248,64384	17	4	13	8
1147,79028	14	3	11	8	1279,064	18	4	14	8
1173,45232	15	3	12	8	1311,28286	19	4	15	8
1200,9307	16	3	13	8	1345,31893	20	4	16	8
1230,22085	17	3	14	8	1381,18826	21	4	17	8
1261,31007	18	3	15	8	1418,89953	22	4	18	8
1294,17898	19	3	16	8	1458,45338	23	4	19	8
1328,80157	20	3	17	8					
1365,14898	21	3	18	8					
1403,18795	22	3	19	8					
1442,88233	23	3	20	8					
1484,19422	24	3	21	8					
1527,08329	25	3	22	8					
1571,50748	26	3	23	8					
1045,91888	5	5	1	8	1089,98925	6	6	1	8
1045,91888	5	5	0	8	1089,98925	6	6	0	8
1055,86914	6	5	1	8	1101,59546	7	6	1	8
1055,86914	6	5	2	8	1101,59546	7	6	2	8
1067,48133	7	5	3	8	1114,86336	8	6	3	8
1067,48133	7	5	2	8	1114,86336	8	6	2	8
1080,75795	8	5	3	8	1129,79407	9	6	3	8
1080,75795	8	5	4	8	1129,79407	9	6	4	8
1095,69969	9	5	5	8	1146,38841	10	6	5	8
1095,69969	9	5	4	8	1146,38841	10	6	4	8
1112,3103	10	5	5	8	1164,64895	11	6	5	8
1112,3103	10	5	6	8	1164,64895	11	6	6	8
1130,5904	11	5	7	8	1184,57714	12	6	7	8
1130,5904	11	5	6	8	1184,57714	12	6	6	8
1150,54584	12	5	7	8	1206,17424	13	6	7	8
1150,54584	12	5	8	8	1206,17424	13	6	8	8
1172,17497	13	5	9	8	1229,44382	14	6	9	8
1172,17497	13	5	8	8	1229,44382	14	6	8	8
1195,49066	14	5	9	8	1254,38701	15	6	9	8
1195,49066	14	5	10	8	1254,38693	15	6	10	8

1220,48818	15	5	10	8	1281,00663	16	6	11	8
1247,17638	16	5	11	8	1281,00723	16	6	10	8
1275,56055	17	5	12	8	1309,30739	17	6	11	8
1305,64778	18	5	13	8	1309,30544	17	6	12	8
1337,44704	19	5	14	8	1339,28608	18	6	13	8
1370,96853	20	5	15	8	1339,29028	18	6	12	8
1406,22454	21	5	16	8	1370,95236	19	6	14	8
1443,23016	22	5	17	8	1404,30487	20	6	15	8
1482,00269	23	5	18	8	1439,34897	21	6	16	8
1220,47666	15	5	11	8	1370,96104	19	6	13	8
1247,1559	16	5	12	8					
1275,55017	17	5	13	8					
1305,56869	18	5	14	8					
1337,32088	19	5	15	8					
1370,76607	20	5	16	8					
1405,90651	21	5	17	8					
1442,74126	22	5	18	8					
1481,26829	23	5	19	8					
1141,92174	7	7	0	8	1201,71635	8	8	1	8
1141,92174	7	7	1	8	1201,71635	8	8	0	8
1155,18395	8	7	1	8	1216,63379	9	8	1	8
1155,18395	8	7	2	8	1216,63379	9	8	2	8
1170,10716	9	7	2	8	1233,21178	10	8	3	8
1170,10716	9	7	3	8	1233,21178	10	8	2	8
1186,69162	10	7	3	8	1251,44996	11	8	3	8
1186,69162	10	7	4	8	1251,44996	11	8	4	8
1204,93905	11	7	4	8	1271,35015	12	8	5	8
1204,93905	11	7	5	8	1271,35015	12	8	4	8
1224,85048	12	7	5	8	1292,9125	13	8	5	8
1224,85048	12	7	6	8	1292,9125	13	8	6	8
1246,42697	13	7	6	8	1316,13901	14	8	7	8
1246,42697	13	7	7	8	1316,13901	14	8	6	8
1269,67054	14	7	7	8	1341,03007	15	8	7	8
1269,67054	14	7	8	8	1341,03007	15	8	8	8
1294,58226	15	7	8	8	1367,58705	16	8	9	8
1294,58226	15	7	9	8	1367,58705	16	8	8	8
1321,16385	16	7	9	8	1395,81097	17	8	9	8
1321,1638	16	7	10	8	1395,81097	17	8	10	8
1349,41744	17	7	10	8	1425,7036	18	8	11	8
1349,41773	17	7	11	8	1425,7036	18	8	10	8
1379,34465	18	7	11	8	1457,26638	19	8	11	8
1379,34446	18	7	12	8	1457,26638	19	8	12	8
1410,94758	19	7	12	8	1490,50063	20	8	13	8
1410,94722	19	7	13	8	1490,50063	20	8	12	8

1444,2283	20	7	13	8	1525,40749	21	8	13	8
1444,22844	20	7	14	8	1525,40749	21	8	14	8
1479,18929	21	7	14	8	1561,98979	22	8	15	8
1479,18916	21	7	15	8	1561,98979	22	8	14	8
1515,83339	22	7	15	8	1600,24796	23	8	15	8
1515,83259	22	7	16	8	1600,24796	23	8	16	8
1554,16232	23	7	16	8	1640,00464	24	8	17	8
1554,16018	23	7	17	8	1640,18464	24	8	16	8
1594,1815	24	7	17	8	1681,8014	25	8	17	8
1594,17619	24	7	18	8	1681,80103	25	8	18	8
1635,89054	25	7	18	8					
1635,88179	25	7	19	8					
1679,29474	26	7	19	8					
1679,27918	26	7	20	8					
1269,3721	9	9	1	8	1344,88002	10	10	1	8
1269,3721	9	9	0	8	1344,88002	10	10	0	8
1285,94376	10	9	1	8	1363,12216	11	10	1	8
1285,94376	10	9	2	8	1363,12216	11	10	2	8
1304,17487	11	9	3	8	1383,01047	12	10	3	8
1304,17487	11	9	2	8	1383,01047	12	10	2	8
1324,06564	12	9	3	8	1404,55701	13	10	3	8
1324,06564	12	9	4	8	1404,55701	13	10	4	8
1345,61699	13	9	5	8	1427,76531	14	10	5	8
1345,61699	13	9	4	8	1427,76531	14	10	4	8
1368,82924	14	9	5	8	1452,63274	15	10	5	8
1368,82924	14	9	6	8	1452,63274	15	10	6	8
1393,70398	15	9	7	8	1479,16076	16	10	7	8
1393,70398	15	9	6	8	1479,16076	16	10	6	8
1420,24093	16	9	7	8	1507,34927	17	10	7	8
1420,24093	16	9	8	8	1507,34927	17	10	8	8
1448,44191	17	9	9	8	1537,20143	18	10	9	8
1448,44191	17	9	8	8	1537,20143	18	10	8	8
1478,30696	18	9	9	8	1568,71544	19	10	9	8
1478,30696	18	9	10	8	1568,71544	19	10	10	8
1509,83789	19	9	11	8	1601,89246	20	10	11	8
1509,83789	19	9	10	8	1601,89246	20	10	10	8
1543,03452	20	9	11	8	1636,73304	21	10	11	8
1543,03452	20	9	12	8	1636,73304	21	10	12	8
1577,8998	21	9	13	8	1673,23923	22	10	13	8
1577,8998	21	9	12	8	1673,23923	22	10	12	8
1614,43258	22	9	13	8	1711,41112	23	10	13	8
1614,43258	22	9	14	8	1711,41112	23	10	14	8
1652,63671	23	9	15	8	1751,25173	24	10	15	8
1652,63671	23	9	14	8	1751,25173	24	10	14	8

1692,51068	24	9	15	8	1792,75838	25	10	15	8
1692,51068	24	9	16	8	1792,75838	25	10	16	8
1734,057	25	9	17	8					
1734,057	25	9	16	8					
1777,27734	26	9	17	8					
1777,27734	26	9	18	8					
1822,17261	27	9	19	8					
1822,17261	27	9	18	8					
1428,26539	11	11	1	8					
1428,26539	11	11	0	8					
1448,14608	12	11	1	8					
1448,14608	12	11	2	8					
1469,68489	13	11	3	8					
1469,68489	13	11	2	8					
1492,88217	14	11	3	8					
1492,88217	14	11	4	8					
1517,73805	15	11	5	8					
1517,73805	15	11	4	8					
1544,25326	16	11	5	8					
1544,25326	16	11	6	8					
1572,42783	17	11	7	8					
1572,42783	17	11	6	8					
1602,26227	18	11	7	8					
1602,26227	18	11	8	8					
1633,75633	19	11	9	8					
1633,75633	19	11	8	8					
1666,91228	20	11	9	8					
1666,91228	20	11	10	8					
1701,72744	21	11	11	8					
1701,72744	21	11	10	8					
1738,20782	22	11	11	8					
1738,20782	22	11	12	8					
1776,34906	23	11	13	8					
1776,34906	23	11	12	8					
1816,15313	24	11	13	8					
1816,15313	24	11	14	8					
1857,62075	25	11	15	8					
1857,62075	25	11	14	8					
1900,75289	26	11	15	8					
1900,75289	26	11	16	8					
1945,5495	27	11	17	8					
1945,5495	27	11	16	8					
1992,0116	28	11	17	8					
1992,0116	28	11	18	8					

2040,14028	29	11	19	8					
2040,14028	29	11	18	8					
769,4177	3	3	0	10	797,33311	4	4	0	10
769,4177	3	3	1	10	797,33306	4	4	1	10
775,9973	4	3	1	10	805,55755	5	4	1	10
775,9973	4	3	2	10	805,55736	5	4	2	10
784,23	5	3	2	10	815,4316	6	4	2	10
784,2261	5	3	3	10	815,43135	6	4	3	10
794,1184	6	3	3	10	826,95618	7	4	3	10
794,10559	6	3	4	10	826,95568	7	4	4	10
805,67034	7	3	4	10	840,13516	8	4	4	10
805,63988	7	3	5	10	840,13442	8	4	5	10
818,89447	8	3	5	10	854,97174	9	4	5	10
818,82928	8	3	6	10	854,96846	9	4	6	10
833,8047	9	3	6	10	871,46963	10	4	6	10
833,67233	9	3	7	10	871,46071	10	4	7	10
850,41017	10	3	7	10	889,63361	11	4	7	10
850,17121	10	3	8	10	889,615	11	4	8	10
868,73405	11	3	8	10	909,4703	12	4	8	10
868,3223	11	3	9	10	909,43335	12	4	9	10
888,79298	12	3	9	10	930,98747	13	4	9	10
888,12319	12	3	10	10	930,91765	13	4	10	10
910,6067	13	3	10	10	954,19397	14	4	10	10
909,56872	13	3	11	10	954,0698	14	4	11	10
934,19398	14	3	11	10	978,89042	15	4	12	10
932,65251	14	3	12	10	979,10163	15	4	11	10
959,56771	15	3	12	10	1005,7252	16	4	12	10
957,36631	15	3	13	10	1034,0806	17	4	13	10
986,73562	16	3	13	10	1064,18631	18	4	14	10
983,70331	16	3	14	10	1096,06363	19	4	15	10
1015,69598	17	3	14	10	1129,73043	20	4	16	10
1011,65135	17	3	15	10	1165,20445	21	4	17	10
1046,44192	18	3	15	10	1202,44536	22	4	18	10
1041,19904	18	3	16	10	1005,37932	16	4	13	10
1078,9551	19	3	16	10	1033,53425	17	4	14	10
1072,33677	19	3	17	10	1063,35192	18	4	15	10
1113,21516	20	3	17	10	1094,82549	19	4	16	10
1105,05251	20	3	18	10	1127,94228	20	4	17	10
1149,1933	21	3	18	10	1162,6705	21	4	18	10
1139,33147	21	3	19	10	1199,14277	22	4	19	10
1186,87737	22	3	19	10					
1175,16806	22	3	20	10					
1226,22784	23	3	20	10					
1212,53865	23	3	21	10					

1267,19573	24	3	21	10					
1251,44494	24	3	22	10					
833,01037	5	5	0	10	876,45978	6	6	0	10
833,01037	5	5	1	10	876,45978	6	6	1	10
842,88104	6	5	1	10	887,97708	7	6	1	10
842,88104	6	5	2	10	887,97708	7	6	2	10
854,39959	7	5	2	10	901,14154	8	6	2	10
854,39959	7	5	3	10	901,14154	8	6	3	10
867,56806	8	5	3	10	915,95414	9	6	3	10
867,56806	8	5	4	10	915,95414	9	6	4	10
882,3873	9	5	4	10	932,41588	10	6	4	10
882,3873	9	5	5	10	932,41588	10	6	5	10
898,86107	10	5	5	10	950,52806	11	6	5	10
898,86013	10	5	6	10	950,52806	11	6	6	10
916,98979	11	5	6	10	970,29231	12	6	6	10
916,98797	11	5	7	10	970,29231	12	6	7	10
936,77573	12	5	7	10	991,71015	13	6	7	10
936,77201	12	5	8	10	991,71015	13	6	8	10
958,22419	13	5	8	10	1014,78388	14	6	8	10
958,21531	13	5	9	10	1014,78388	14	6	9	10
981,33692	14	5	9	10	1039,51153	15	6	9	10
981,32066	14	5	10	10	1039,51153	15	6	10	10
1006,11532	15	5	10	10	1065,90412	16	6	10	10
1006,0807	15	5	11	10	1065,90412	16	6	11	10
1032,56734	16	5	11	10					
1032,52806	16	5	12	10					
1060,69734	17	5	12	10					
1060,63349	17	5	13	10					
1090,51098	18	5	13	10					
1090,40965	18	5	14	10					
1122,01678	19	5	14	10					
1121,85244	19	5	15	10					
1154,96421	20	5	16	10					
927,69317	7	7	0	10	986,73444	8	8	0	10
927,69317	7	7	1	10	986,73444	8	8	1	10
940,85464	8	7	1	10	1001,57903	9	8	1	10
940,85464	8	7	2	10	1001,57903	9	8	2	10
955,6619	9	7	2	10	1018,10082	10	8	2	10
955,6619	9	7	3	10	1018,10082	10	8	3	10
972,11268	10	7	3	10	1036,31341	11	8	3	10
972,11268	10	7	4	10	1036,31341	11	8	4	10
990,20962	11	7	4	10	1056,23299	12	8	4	10
990,20962	11	7	5	10	1056,23299	12	8	5	10
1009,9533	12	7	5	10	1077,87083	13	8	5	10

1009,9533	12	7	6	10	1077,87083	13	8	6	10
1031,34459	13	7	6	10	1101,23285	14	8	6	10
1031,34459	13	7	7	10	1101,23285	14	8	7	10
1054,38495	14	7	7	10	1126,31479	15	8	7	10
1054,38495	14	7	8	10	1126,31479	15	8	8	10
1079,07636	15	7	8	10	1153,1129	16	8	8	10
1079,07636	15	7	9	10	1153,1129	16	8	9	10
1105,42063	16	7	9	10	1181,62086	17	8	9	10
1105,42063	16	7	10	10	1181,62086	17	8	10	10
1133,4211	17	7	10	10					
1133,4211	17	7	11	10					
1163,07813	18	7	11	10					
1163,07813	18	7	12	10					
1194,39522	19	7	12	10					
1194,39522	19	7	13	10					
1053,55422	9	9	0	10	1128,18428	10	10	0	10
1053,55422	9	9	1	10	1128,18428	10	10	1	10
1070,02724	10	9	1	10	1146,30452	11	10	1	10
1070,02724	10	9	2	10	1146,30452	11	10	2	10
1088,15195	11	9	2	10	1166,0759	12	10	2	10
1088,15195	11	9	3	10	1166,0759	12	10	3	10
1107,9331	12	9	3	10	1187,50032	13	10	3	10
1107,9331	12	9	4	10	1187,50032	13	10	4	10
1129,37202	13	9	4	10	1210,5785	14	10	4	10
1129,37202	13	9	5	10	1210,5785	14	10	5	10
1152,47128	14	9	5	10	1235,31306	15	10	5	10
1152,47128	14	9	6	10	1235,31306	15	10	6	10
1177,23354	15	9	6	10	1261,70418	16	10	6	10
1177,23354	15	9	7	10	1261,70418	16	10	7	10
1203,66241	16	9	7	10	1289,75339	17	10	7	10
1203,66241	16	9	8	10	1289,75339	17	10	8	10
1231,76128	17	9	8	10	1319,46462	18	10	8	10
1231,76128	17	9	9	10	1319,46462	18	10	9	10
1261,53455	18	9	9	10	1350,83737	19	10	9	10
1261,53455	18	9	10	10	1350,83737	19	10	10	10
1292,98681	19	9	10	10	1383,87464	20	10	10	10
1292,98681	19	9	11	10	1383,87464	20	10	11	10
1326,12327	20	9	11	10	1418,57892	21	10	11	10
1326,12327	20	9	12	10	1418,57892	21	10	12	10
1360,95042	21	9	12	10	1454,95228	22	10	12	10
1360,95042	21	9	13	10	1454,95228	22	10	13	10
1397,47191	22	9	13	10	1492,99758	23	10	13	10
1397,47191	22	9	14	10	1492,99758	23	10	14	10
1435,69724	23	9	14	10	1532,71739	24	10	14	10

1435,69724	23	9	15	10	1532,71739	24	10	15	10
					1574,11523	25	10	15	10
					1574,11523	25	10	16	10
1210,61916	11	11	0	10	1300,8539	12	12	0	10
1210,61916	11	11	1	10	1300,8539	12	12	1	10
1230,38762	12	11	1	10	1322,27053	13	12	1	10
1230,38762	12	11	2	10	1322,27053	13	12	2	10
1251,80711	13	11	2	10	1345,33859	14	12	2	10
1251,80711	13	11	3	10	1345,33859	14	12	3	10
1274,87815	14	11	3	10	1370,05774	15	12	3	10
1274,87815	14	11	4	10	1370,05774	15	12	4	10
1299,60252	15	11	4	10	1396,42811	16	12	4	10
1299,60252	15	11	5	10	1396,42811	16	12	5	10
1325,98096	16	11	5	10	1424,45217	17	12	5	10
1325,98096	16	11	6	10	1424,45217	17	12	6	10
1354,01359	17	11	6	10	1454,12811	18	12	6	10
1354,01359	17	11	7	10	1454,12811	18	12	7	10
1383,70102	18	11	7	10	1485,45795	19	12	7	10
1383,70102	18	11	8	10	1485,45795	19	12	8	10
1415,04624	19	11	8	10	1518,44297	20	12	8	10
1415,04624	19	11	9	10	1518,44297	20	12	9	10
1448,04992	20	11	9	10	1553,08442	21	12	9	10
1448,04992	20	11	10	10	1553,08442	21	12	10	10
1482,71296	21	11	10	10	1589,38009	22	12	10	10
1482,71296	21	11	11	10	1589,38009	22	12	11	10
1519,03734	22	11	11	10	1627,33452	23	12	11	10
1519,03734	22	11	12	10	1627,33452	23	12	12	10
1557,0231	23	11	12	10					
1557,0231	23	11	13	10					
1596,67416	24	11	13	10					
1596,67416	24	11	14	10					

**Приложение Б**  
(Справочное)

**The mathematical model used for spectrum analysis and the least squares fitting of spectroscopic data**

Part 2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Жданович Станислав Андреевич		

Консультант каф. Общей физики (руководитель ВКР)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры общей физики ФТИ ТПУ	Бехтерева Елена Сергеевна	Доктор физико- математических наук		

Консультант-лингвист кафедры иностранных языков ФТИ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры иностранных языков ФТИ ТПУ	Кабрышева Оксана Павловна	Кандидат филологических наук		

## 2. The mathematical model used for spectrum analysis and the least squares fitting of spectroscopic data

Natural phenomena are often studied by constructing a model of a process or an object. Molecular spectroscopy studies the absorption of light by molecules in different frequency ranges under different environmental conditions (temperature, pressure, electric and magnetic fields). The modeling of this processes first of all leads to the construction of a Hamiltonian specific for the molecule.

A molecule that absorbs electromagnetic radiation is represented in the form of electrons and the nuclei. The next step is to solve the problem of their motion in the absence of external fields. Absorption of the energy of the electromagnetic radiation quantum results in the transition of a molecule from a low-energy state to a state with a higher energy. It is necessary to solve the Schrödinger equation (2.1) to describe the energy levels of a molecule, where  $H$  is the Hamilton operator, which depends of the coordinates and spins of the particles that construct the molecule, the operator must describe interactions between these particles. Nonrelativistic Hamiltonians of the form (2.2) are usually used in the field of molecular spectroscopy.

$$H\psi = E\psi, \quad (2.1)$$

where  $\psi$  is the wave function of the state,  $E$  is the energy of the state.

$$H = T_{nucl} + T_{el} + V, \quad (2.2)$$

where  $T_{nucl}$  and  $T_{el}$  are the kinetic energy operators of nuclei and electrons respectively,  $V$  is the operator of the potential energy of the molecule. These operators have the following form in the coordinates of the space-fixed system (SFS):

$$\begin{aligned} T_{nucl} &= -\frac{\hbar^2}{2} \sum_N \frac{1}{m_N} \left( \frac{\partial^2}{\partial x_N^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_N^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_N^2} \right), \\ T_{el} &= -\frac{\hbar^2}{2} \sum_i \frac{1}{m_{el}} \left( \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_i^2} \right), \\ V &= \sum_{i,j>i} \frac{e^2}{r_{ij}} + \sum_{N,N'>N} \frac{Z_N Z_{N'}}{r_{NN'}} - \sum_{i,N} \frac{e Z_N}{r_{iN}}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

where  $m_N$  and  $m_{el}$  are the masses of nuclei and electrons respectively;  $Z_N$  and  $e$  are the charges of nuclei and electrons;  $r_{ij}$  is the distance between the  $i$ -th and  $j$ -th particles.

Finding the exact solution of the Schrödinger equation with Hamiltonian of the same kind is a very complex problem. Therefore, there are numerous approximations. Another problem to be solved then is obtaining a rotational and vibrational variables dependent Hamiltonian, in other words, the translation of the classical Hamiltonian (2.2) into a Hamiltonian in intramolecular coordinates. As a result of such a translation, we obtain the rotational-vibrational Watsons Hamiltonian [22]. We now briefly describe the main theses of the theories used in rotational-vibrational molecular spectroscopy to simplify the problem of solving the Schrödinger equation.

According to the *Born-Oppenheimer approximation*, the solution of the Schrödinger equation is divided into two parts and Hamiltonian is of the form (2.4):

$$H = H_{el} + \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (2.4)$$

1. Describing the motion of electrons in the field of slowly moving nuclei (part corresponds to the term  $H_{el}$ );
2. Describing the motion of nuclei in the effective field of electrons ( $\Delta H_1$  and  $\Delta H_2$ ).

Parts 1 and 2 could now be solved separately, and the full wave function  $\psi$  (2.5) is expressed as the product of the electron  $\psi_{el}$  and the nuclear  $\psi_{nucl}$  wave functions:

$$\psi = \psi_{el} * \psi_{nucl} \quad (2.5)$$

*The method of effective operators* allows us to replace the original Hamiltonian  $H$  (if a process of finding a solution is impossible or difficult) by a new  $H'$ , which has the following properties:

1. The solution of the Schrodinger equation with  $H'$  can be determined in an explicit form;
2. The set  $B'$  of all solutions of the Schrödinger equation with the operator  $H'$  identically coincides with some subset  $B$  of the set of solutions  $A$  of the Schrödinger equation with the operator  $H$ .

According to *the operator perturbation theory*, the Hamiltonian is usually chosen in the form (2.4). In this case, the eigenfunctions are expressed in the form of products of the corresponding eigenfunctions of the terms of  $H$ .

$$H = H_0 + \sum_{n=1}^{\infty} H_n(\kappa^n) \quad (2.5)$$

where the symbol  $\kappa^n$  means that the corresponding operator  $H_n$  is small in comparison with  $H_0$ , the solution with  $H_0$  is known. The infinitesimal order of  $H_n$  is defined as  $\kappa^n$ , where  $\kappa = (m_e/M_N)^{1/4}$ ,  $m_e$  is the electron mass,  $M_N$  is the average mass of the nuclei of the molecule [15-21].

## 2.1 General information about the C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D molecule.

C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D (Figure 1) is the asymmetric top molecule. The symmetry group of this molecule is isomorphic to the C<sub>s</sub> point symmetry group.

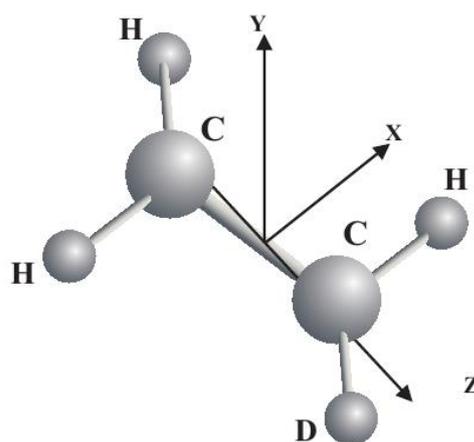


Figure 1 – C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D molecule

The fundamental bands  $\nu_4$ ,  $\nu_6$ ,  $\nu_7$ ,  $\nu_8$  and  $\nu_{10}$ , which are located in the region of 600-1250 cm<sup>-1</sup>, were studied by the authors. The corresponding vibrational coordinates,  $Q_4$ ,  $Q_6$ ,  $Q_7$ ,  $Q_8$ ,  $Q_{10}$  (Figure 2) are transformed under symmetry operations over the irreducible representations A' and A'' of the group C<sub>s</sub> (Table 2) [15-21].

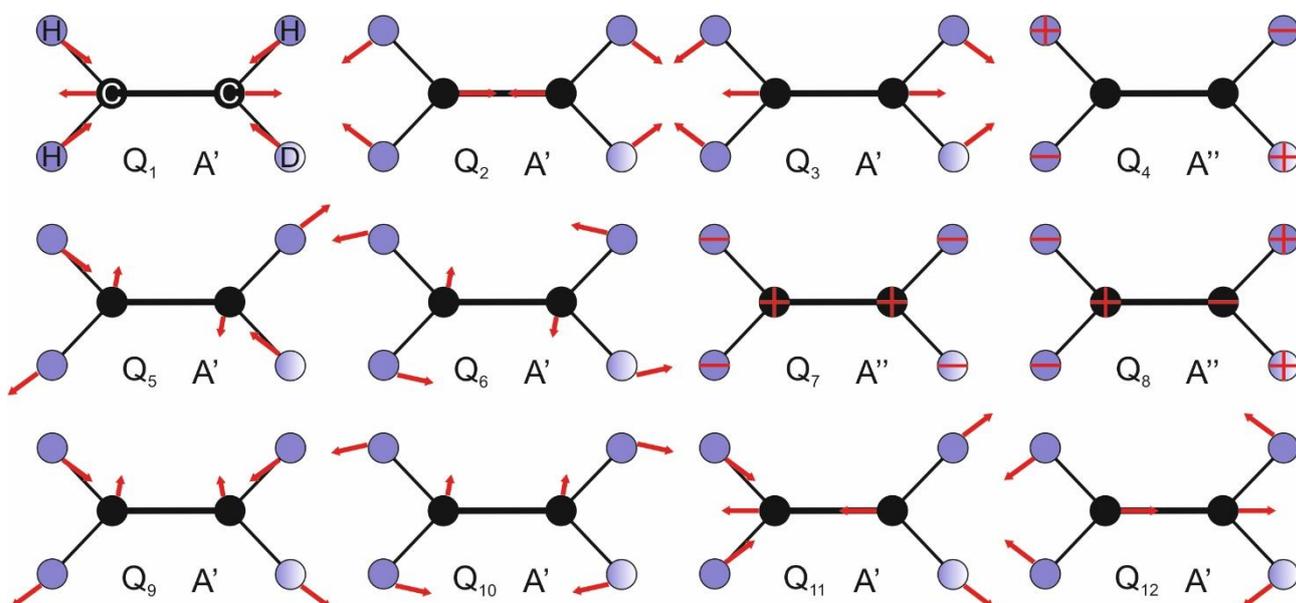


Figure 2 – Normal vibrations of the  $C_2H_3D$  molecule

Table 2 - Conversion of the elements of the  $C_s$  group

$C_s$	$E$	$\sigma_h$	Normal vibrational coordinates	The angular momentum operators
$A'$	1	1	$Q_1, Q_2, Q_3, Q_5, Q_6, Q_9, Q_{10}, Q_{11}, Q_{12}$	$J_x, J_z$
$A''$	1	-1	$Q_4, Q_7, Q_8,$	$J_y$

According to the symmetry of the molecule, three types of transitions a, b, and c should be distributed between the bands of  $A'$  and  $A''$  types, the selection rules corresponding to these types of transitions have the following form:

$$\begin{aligned}
 \Delta J &= \pm 1 \quad \Delta K_a = \text{even} \quad \Delta K_c = \text{odd} \\
 \Delta J &= \pm 1 \quad \Delta K_a = \text{odd} \quad \Delta K_c = \text{odd} \\
 \Delta J &= \pm 1 \quad \Delta K_a = \text{odd} \quad \Delta K_c = \text{even}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

In addition, for all types of transitions, the following conditions must be met:

$$\begin{aligned}
 K_a + K_c &= J, J + 1 \\
 K_a, K_c &\leq J
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

## 2.2. The model of the effective Hamiltonian

As stated earlier, to simplify the solution of the Schrödinger equation it becomes necessary to transfer the Hamiltonian (2.2) to the Hamiltonian in intramolecular coordinates. According to Ref. [22], the vibrational-rotational

Hamiltonian of the molecule takes the following form (2.8) upon transition to  $(3N - 6)$  vibrational coordinates  $Q_\lambda$ , which describe the relative motion of nuclei in a molecule.

$$H = \frac{1}{2} \sum_\lambda P_\lambda^2 + \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta} \mu_{\alpha\beta} (J_\alpha - G_\alpha)(J_\beta - G_\beta) + V(Q), \quad (2.8)$$

where  $P_\lambda = -i\hbar \frac{\partial}{\partial Q_\lambda}$  is the momentum conjugate to the  $Q_\lambda$  coordinate;

The potential function  $V(Q)$  can be represented as a Taylor series expansion:

$$V(Q) = E_0 + \frac{(2\pi c)^2}{2} \sum_\lambda \omega_\lambda^2 Q_\lambda^2 + \sum_{\lambda\mu\nu} K_{\lambda\mu\nu} Q_\lambda Q_\mu Q_\nu + \sum_{\lambda\mu\nu\xi} K_{\lambda\mu\nu\xi} Q_\lambda Q_\mu Q_\nu Q_\xi + \dots \quad (2.9)$$

here:

$$G_\alpha = \sum_{\lambda\mu} \zeta_{\lambda\mu}^\alpha Q_\lambda P_\mu \quad (2.10)$$

- vibrational angular momentum components;

$$\zeta_{ab}^\alpha = \sum_N \sum_{\beta\gamma} \epsilon_{\alpha\beta\gamma} l_{N\beta a} l_{N\gamma b} \quad (2.11)$$

- Coriolis constants;

$\epsilon_{\alpha\beta\gamma}$  is a completely antisymmetric tensor (Levi-Civita symbol);

$l_{N\beta a}$  - constants of vibration modes;

$\mu_{\alpha\beta}$  - elements of the matrix of the reciprocal moments of inertia;

$J_\alpha$  - total angular momentum operator components [15-21].

### 2.3 Combination differences method

The spectrum analysis was carried out by the method of combination differences. Rotational levels of the ground and excited vibrational-rotational states are considered. According to the selection rules, there are several transitions from rotational levels of the ground vibrational state to the same level of the excited vibrational state (Figure 3). Usually, the structure of the fundamental vibrational state is known with high accuracy, it can be determined from the analysis of microwave spectra.

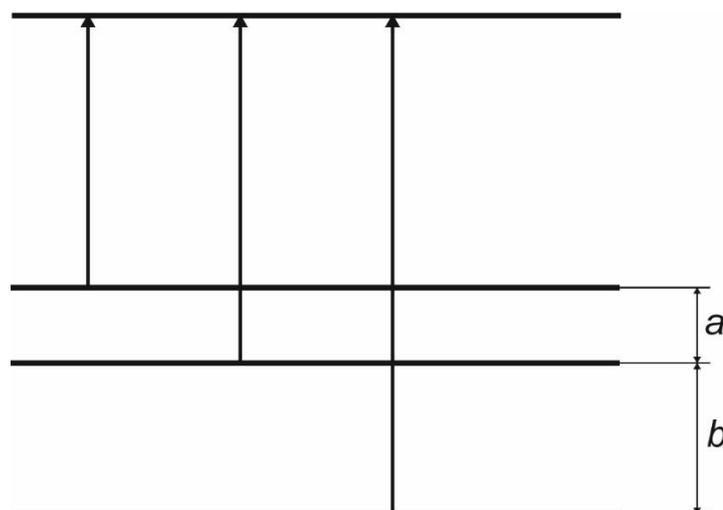


Figure 3 - Illustration of the Combination Differences Method

Our goal is to find the energy of an excited vibrational state. In order to find it, it is necessary to assume at what distance it is separated from the corresponding energy of the ground state. Since the distances between the rotational levels of the ground vibrational state are known sufficiently accurately, you can make a "ruler", the distances between the divisions of which will correspond to the distances between the rotational levels of the ground vibrational state ( $a$  and  $b$  in Figure 3).

Let us suppose we made a "ruler" of three divisions. We will move the "ruler" along the spectrum. In the spectrum, it is necessary to find three lines that coincide with the rulings of the ruler (Fig. 4). Knowing the positions of the lower levels, the wavelengths of the transitions, we can determine the energy of the upper level. If we "move" the ruler along the spectrum, we can find a few more lines that coincide with the divisions of the "ruler". From among the lines chosen in this way, you need to find the right combination. The described process is one of the ways of interpreting the lines.

Of course, the exact alignment of the spectral lines with the divisions of the ruler in the process of identification is unlikely. Therefore, the accuracy of the search " $d$ " is specified. This means that if the center of the spectrum line deviates from rulings by an amount less than or equal to " $d$ ", the line falls into the sample [15-21].

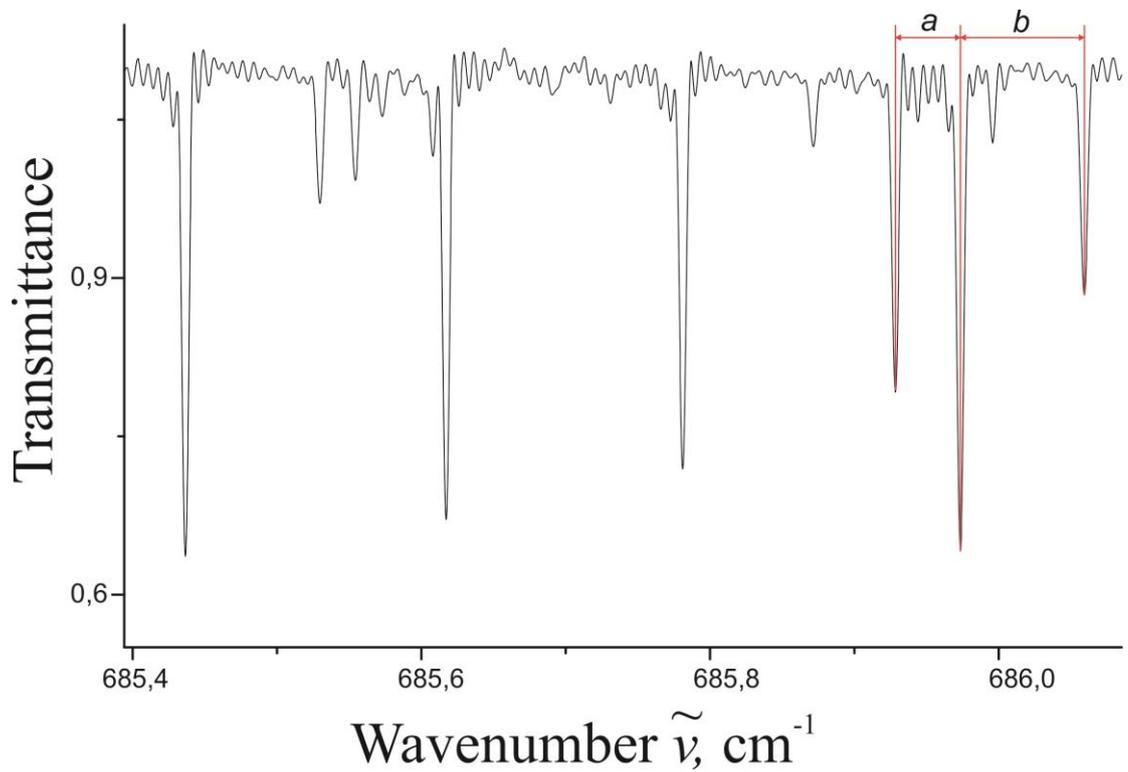


Figure 4 - "Ruler" is moving across the spectrum

#### 2.4 Principle of operation of the Fourier spectrometer

Basically, the Fourier spectrometer is a Michelson interferometer, when the investigated radiation enters the interferometer one of the mirrors moves at a constant speed. The optical scheme of a typical Michelson interferometer is shown in Figure 5.

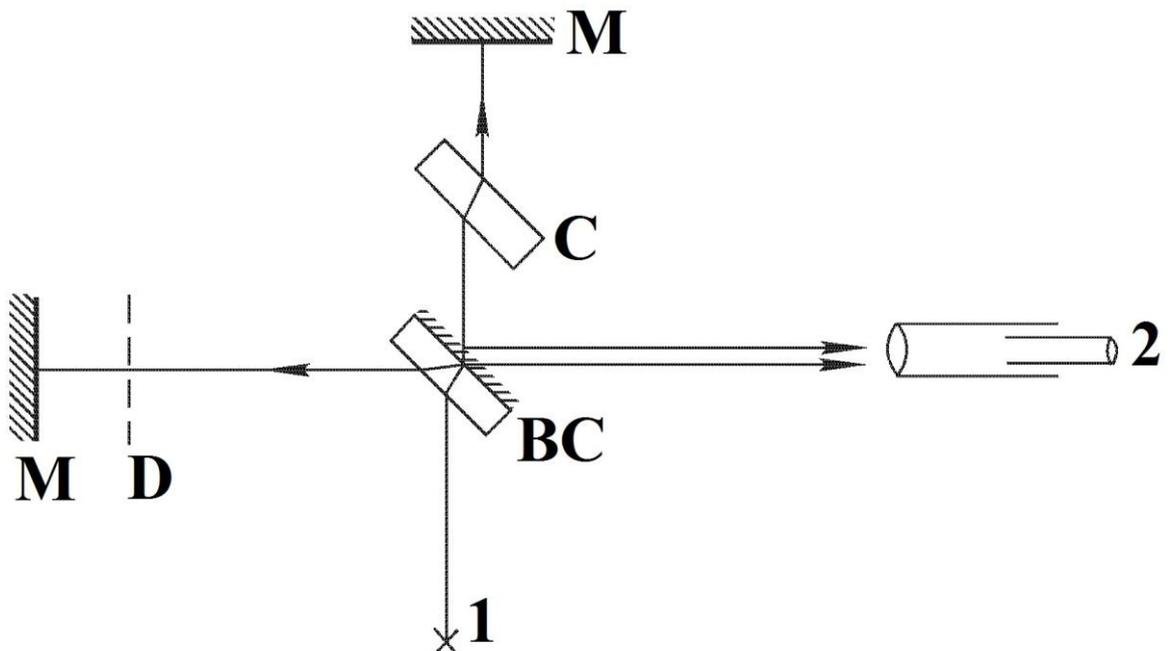


Figure 5 - Optical scheme of the interferometer

The investigated light beam leaves the source (1). M - mirrors are arranged so that after the beamsplitter - BC, - the rays are interfering with each other. C is the compensator of the path difference caused by the fact that one of the beams passed through the plate of the beam splitter once, and the other – three times. The result of interference is recorded in the photodetector - 2.

The photodetector is connected through an amplifier with an ADC (analog-to-digital converter), which converts the analog electrical signal into a digital sequence. A data array obtained this way is called a source interferogram. The array is converted via a computer, where a Fourier transform results in a spectrum in the coordinates of the position of the mirror and the intensity of the signal. Interferogram is received during the working cycle of the interferometer - scanning. It is carried out by moving one of the mirrors with the help of the D - device changing the path difference. In order to relate the recorded count to a certain value of the path difference and to obtain the spectrum in the required coordinates, a reference interferogram is taken simultaneously.

As the mirror moves to the receiver, a light beam enters the receiver, its intensity in the case of a monochromatic source varies in accordance with the cosine law. If the second frequency is added to the radiation source, then the resulting dependence in the coordinates "mirror position - intensity " will be represented as the sum of two cosine waves and so on to an infinite number of frequencies [15-21].