

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИЯ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ПАВЛОВСКАЯ Наталия Анатольевна

УДК 539.186

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ
СТОЛКНОВЕНИЯХ АТОМОВ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ
В МЕТАСТАБИЛЬНЫХ И РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЯХ
С АТОМАМИ В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ

01.04.05 — оптика, 01.04.08 — физика и химия плазмы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ленинград 1990

Работа выполнена на кафедре оптики Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени государственного университета.

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ:

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
А. З. Девдариани,

кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник А. Л. Загребин

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Г. К. Иванов,

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
В. М. Бородин

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

Государственный оптический институт
имени С. И. Вавилова

Защита диссертации состоится „—“ 1990 г.

в „—“ часов на заседании специализированного совета К.063.57.10 по присуждению ученой степени кандидата наук в Ленинградском государственном университете по адресу: 199034, Ленинград, Университетская наб., 7/9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛГУ.

Автореферат разослан „—“ 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат физико-математических наук

H. A. Тимофеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Интерес к элементарным процессам с участием возбужденных атомов инертных газов в значительной мере связан с тем, что эти газы являются основными по концентрации составляющими многих лазерных смесей. Процессы при столкновениях атомов инертных газов $X^* + Y$ определяют кинетику возбужденных состояний в слабоионизованной плазме, играют важную роль в создании инверсной заселенности в различных типах газовых и плазменных лазеров, что определяет актуальность вычисленных характеристик элементарных процессов.

Необходимым этапом при теоретическом рассмотрении атомных столкновений является расчёт потенциалов взаимодействия атомов. В связи с трудностями вычислительного характера, возникающими при неэмпирических расчетах квазимолекулярных термов возбужденных состояний многоэлектронных систем в области больших и средних межъядерных расстояний, в последние годы для расчета межатомного взаимодействия широкое распространение получил метод псевдопотенциала. Поэтому развитие в диссертационной работе одного из вариантов метода псевдопотенциала представляется актуальным. Вычисленные квазимолекулярные термы возбужденных состояний гетероядерных квазимолекул инертных газов представляют интерес как в связи с получением новой информации о термах возбужденных квазимолекул, так и с возможностью использования вычисленных потенциалов для анализа различных элементарных процессов.

Цель работы. Целью настоящей диссертационной работы является расчет термов нижних возбужденных состояний гетероядерных квазимолекул $X(^{\text{пр}}(n+1)S) + Y(^1S_0)$ инертных газов и теоретический анализ ряда элементарных процессов при несимметричных столкновениях атомов инертных газов $X^* + Y$ в условиях газовой ячейки.

Научная новизна. Основная часть имеющихся в литературе экспериментальных и теоретических данных относится к взаимодействию в гомоядерных квазимолекулах X_2 , а также к элемен-

тарным процессам при симметричных столкновениях $X^* + X$.

Научная новизна работы связана с исследованием гетероядерных квазимолекул и несимметричных столкновений атомов инертных газов и заключается в том, что:

1. Предложен способ расчета в замкнутом виде матричных элементов межатомного взаимодействия возбужденной атомной частицы $A(n\ell)$ с атомами в основном состоянии $M(^1S_0)$ для случая $M = \text{He}, Ne$. Для произвольного атома $M(^1S_0)$ получены выражения для матричных элементов дальнодействующего взаимодействия при $\ell \leq 2$.

2. Получены термы низких возбужденных состояний квазимолекул инертных газов $\text{Ar}(3p^5 4S) + \text{He}, Ne; \text{Kr}(4p^5 5S) + \text{He}, Ne$, Ar и $\text{Xe}(5p^5 6S) + \text{He}, Ne, Ar, Kr$.

3. Вычислены температурные зависимости коэффициентов диффузии возбужденных атомов $\text{He}(2^1S_0), \text{He}(2^3S_1), Ne(3S)$ в аргоне, криptonе, ксеноне; атомов $\text{Ar}(4S), \text{Kr}(5S), \text{Xe}(6S)$ в гелии и неоне; атомов $\text{Kr}(5S), \text{Xe}(6S)$ в аргоне и $\text{Xe}(6S)$ в криptonе.

4. Выполнен анализ и расчет сечений процессов неупругих переходов ${}^3P_2 \rightarrow {}^3P_1$ и столкновительно-индуцированного радиационного распада состояния 3P_2 , которые определяют тушение метастабильного состояния 3P_2 при несимметричных столкновениях атомов $\text{Ar}(4S), \text{Kr}(5S), \text{Xe}(6S) + \text{He}, Ne$; а также $\text{Kr}(5S), \text{Xe}(6S) + \text{Ar}, Kr$. Вычислены спектральные распределения фотонов, излучаемых при радиационном распаде.

5. Рассчитаны спектральные профили квазистатических крыльев резонансных линий ${}^1, {}^3P_J \rightarrow {}^1S_0$ атомов аргона, криптона, ксенона в смесях этих газов с гелием и неоном.

6. Получены оценки сечений деполяризации при несимметричных столкновениях атомов $X(\text{pr}^5(n+1)S, {}^1, {}^3P_J)$, где $X = \text{Ar}, \text{Kr}, \text{Xe}$ с атомами неона, аргона, криптона.

Практическая ценность. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в исследованиях и разработках, связанных с применением смесей инертных газов для оптимизации параметров лазерных сред, при анализе процессов в низкотемпературной плаズме, при разработке различных установок, содержащих газ или плаズму. Данные, полученные в диссертационной

работе, можно использовать в спектроскопии при исследовании ВУФ-спектров разрядов в смесях инертных газов. Самостоятельное значение имеют предложенный вариант метода псевдопотенциала для расчета межатомного взаимодействия и расчет термов низких возбужденных состояний гетероядерных квазимолекул инертных газов, на основе которого выполнен анализ элементарных процессов, происходящих в смесях инертных газов. Вычисленные термы могут послужить основой для анализа других элементарных процессов при медленных атомных столкновениях, в частности, процессов, связанных с неупругими столкновениями атомов.

На защиту выносятся:

1. Замкнутые выражения для матричных элементов межатомного взаимодействия $A(n\ell) + He, Ne$ при $\ell \leq 2$ и дальнодействующего взаимодействия возбужденной частицы $A(n\ell)$ с произвольным атомом $M(^1S_0)$, полученные в рамках метода псевдопотенциала.
2. Термы и радиационные ширины низких возбужденных состояний гетероядерных квазимолекул инертных газов $Ar(3p^54S), Kr(4p^55S), Xe(5p^56S) + He, Ne; Kr(4p^55S), Xe(5p^56S) + Ar; Xe(5p^56S) + Kr,$
3. Температурные зависимости коэффициентов диффузии возбужденных атомов $Ar(4S), Kr(5S), Xe(6S)$ в гелии и неоне, атомов $He(2^1S_0), He(2^3S_1), Ne(3S)$ в аргоне, криптоне, ксеноне; а также атомов $Kr(5S), Xe(6S)$ в аргоне и $Xe(6S)$ в криптоне.
4. Теоретический анализ процессов тушения метастабильных состояний 3P_2 при несимметричных столкновениях атомов $Ar^*, Kr^*, Xe^* + He, Ne$, а также $Kr^* + Ar$ и $Xe + Ar, Kr$, на основе которого получены температурные зависимости усредненных по максвелловскому распределению сечений неупругих переходов $^3P_2 \rightarrow ^3P_1$ и столкновительного радиационного распада состояния 3P_2 .
5. Результаты расчета спектральных распределений фотонов, излучаемых в процессе столкновительно-индуцированного радиационного распада метастабильного состояния 3P_2 в смесях инертных газов.
6. Спектральные профили квазистатических крыльев резонансных линий $^{1,3}P_1 \rightarrow ^1S_0$ атомов аргона, криптона, ксенона в смесях

этих газов с гелием и неоном.

7. Оценки сечений деполяризации нижних возбужденных состояний $^{1,3}P_J$ при несимметричных столкновениях атомов инертных газов в смесях аргона, криптона, ксенона с неоном, а также в смесях тяжелых инертных газов.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на объединенном семинаре секций научных Советов АН СССР по проблемам "Физика электронных и атомных столкновений", "Физика низкотемпературной плазмы" (Ленинград, 1987), IV Всесоюзном симпозиуме "Динамика элементарных атомно-молекулярных процессов" (Черноголовка, 1987), X Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений (Ужгород, 1988), XX Всесоюзном съезде по спектроскопии (Киев, 1988), IX Международной конференции по форме спектральных линий (Торунь, Польша, 1988), XX совещании Европейской группы по атомной спектроскопии (Грац, Австрия, 1988), XVI Международной конференции по электронным и атомным столкновениям (Нью-Йорк, 1989), II Всесоюзном семинаре по оптической ориентации атомов и молекул (Ленинград, 1989).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано семнадцать работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, двух разделов и заключения. Работа изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 15 таблиц и список литературы из 138 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы выбор темы и актуальность диссертации, сформулированы решаемые задачи, приведены защищаемые положения.

В первом разделе выполнен расчет термов нижних возбужденных состояний гетероядерных квазимолекул инертных газов $X(^5(\text{п+I})S) + Y(^1S_0)$ (Y - более легкий атом). Расчет выполнен в рамках метода эффективного гамильтонiana. Для анализа взаимодействия атомов инертных газов $X^* + Y$ с учетом про-межуточного типа связи угловых моментов в возбужденном атоме

X^* и дополнительным введением несферического ион-атомного взаимодействия $X^+ + Y$ используется формулировка метода эффективного гамильтониана, данная в [1] и описанная в п. I. I. Метод позволяет рассчитывать квазимолекулярные термы при больших и средних межъядерных расстояниях, представляющих особый интерес для процессов при тепловых атомных столкновениях.

Матричные элементы $U_{nlm,n'l'm}$ части оператора межатомного взаимодействия, действующего на волновую функцию возбужденного электрона, вычислены в рамках варианта метода псевдопотенциала [2], обобщенного в п. I. 2. на случай произвольной волновой функции возбужденного электрона. Этот метод основан на привлечении характеристик электрон-атомного рассечения и использован для расчета взаимодействия возбужденной атомной частицы $A(nl)$ с энергией связи внешнего электрона $|E^*| < 5$ эВ с атомами Не или Ne в области $R \geq 4 a_0$. Матричные элементы $U_{nlm,n'l'm}(R)$ при $l, l' \leq 2$ выражены через интегралы от произведений невозмущенных радиальных атомных волновых функций.

Для случая произвольного атома $M(^1S_0)$ определены матричные элементы дальнодействующего взаимодействия и найдены коэффициенты асимптотического разложения взаимодействия по обратным степеням R .

Вычисленные матричные элементы межатомного взаимодействия $Ne(3S) + Ne(3p) + Ne$ согласуются с результатами значительно более трудоёмкого расчета [3] в рамках метода модельного потенциала, что свидетельствует о надежности полученных выражений.

Далее в п. I. 3. приводятся результаты расчета потенциалов взаимодействия атомов $Ar(3p^54S)$, $Kr(4p^55S)$, $Xe(5p^56S) + Ne$, вычисленных в рамках метода эффективного гамильтониана с привлечением метода псевдопотенциала (рис. I). При больших и средних межъядерных расстояниях потенциалы в различных квазимолекулярных состояниях отличаются для указанных пар незначительно.

В случае взаимодействия возбужденных атомов $X(\text{пр}^5(n+1)S)$ с атомами тяжелых инертных газов (Ar , Kr , Xe) метод псевдопотенциала неприменим. Поэтому расчет межатомного взаимодействия

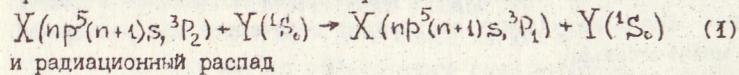
вия выполнен с привлечением данных о потенциалах взаимодействия атомов и ионов щелочных металлов с атомами Ar, Kr и Xe. Для вычисленных потенциалов взаимодействия атомов Kr($4p^5S$), Xe($5p^5S$) + Ar и Xe($5p^5S$) + Kr наблюдается значительное расщепление различных квазимолекулярных состояний.

Для всех указанных выше пар атомов инертных газов получены зависимости от межъядерного расстояния вероятностей радиационных переходов из всех возбужденных состояний квазимолекулы $X(\text{pr}^5(n+1)S) + Y(^1S_0)$ в основное состояние $X(^1S_0) + Y(^1S_0)$.

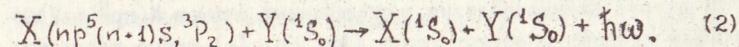
Во втором разделе диссертационной работы рассмотрены процессы в плазме, определяемые двухчастичными столкновениями атомов $X(\text{pr}^5(n+1)S) + Y(^1S_0)$. Основное внимание уделено процессам, сопровождающим упругие столкновения атомов. Выполненный анализ основан на полуклассической теории атомных столкновений. Все рассмотренные процессы в значительной мере определяются траекториями упругого рассеяния с учетом ветвления траекторий для движения в различных вырожденных в пределе $R \rightarrow \infty$ квазимолекулярных состояниях. Поэтому приведенные ниже расчеты и анализ экспериментальных данных по рассматриваемым процессам основываются на потенциалах взаимодействия из раздела I. Вычисленные характеристики (сечения, спектры) процессов определены в интервале температур $200 K \leq T \leq 700 K$, соответствующих условиям газовой ячейки.

Процессы диффузии возбужденных атомов в значительной мере определяют кинетику возбужденных состояний в слабоионизованной плазме. В п. 2.1. рассчитаны температурные зависимости коэффициентов диффузии метастабильных и резонансно-возбужденных атомов X^* в газе атомов Y (табл.). Результаты расчетов сравниваются с имеющимися экспериментальными данными.

При тепловых столкновениях атомов инертных газов $X(\text{pr}^5(n+1)S) + Y(^1S_0)$, где Y - более легкий атом, основными каналами тушения метастабильного состояния 3P_2 , являются процессы неадиабатических переходов



и радиационный распад



В п.2.2. рассмотрены неадиабатические переходы между уровнями конфигурации $X(\text{пр}^5(p+1)S)$ при столкновениях с атомами Не и Ne. Эти процессы в ряде случаев определяют тушение метастабильного состояния 3P_2 . Приводятся результаты расчетов сечений неадиабатических переходов $\langle \sigma \rangle_{2 \rightarrow 1}$ (табл., рис. 2), полученные в рамках модельной задачи о переходах между параллельными диабатическими термами, связанными слабым взаимодействием. Другим возможным каналом тушения метастабильного состояния 3P_2 являются радиационный распад (2) вследствие снятия запрета на дипольный переход при сближении атомов. При $T \sim 300$ К именно этот канал определяет гибель метастабильных состояний при столкновениях тяжелых атомов X и Y. В п.2.3. приводятся результаты теоретического анализа процесса столкновительно-индуцированного радиационного распада и тушения метастабильных состояний при несимметричных столкновениях Ar^* , Kr^* , $\text{Xe}^* + \text{He}$, $\text{Kr}^*, \text{Xe}^* + \text{Ar}$ и $\text{Xe}^* + \text{Kr}$ (табл., рис. 2).

Процесс столкновительного радиационного тушения метастабильного состояния 3P_2 сопровождается излучением фотонов с энергией, близкой к энергии запрещенного атомного перехода. Расчеты спектральных распределений фотонов выполнены в полуklassическом франк-кондоносском приближении (п.2.3.). Спектральные распределения имеют максимумы двух типов (рис. 3). Максимумы первого типа связаны с экстремумами разностных потенциалов взаимодействия и имеют ту же природу, что и хорошо известные квазистатические сателлиты разрешенных линий. Максимумы второго типа не имеют аналогов в квазистатических крыльях разрешенных линий и связаны с быстрым возрастанием радиационной ширины квазимолекулярных состояний с уменьшением межъядерного расстояния, так что основной вклад в радиационное тушение дают переходы вблизи точки поворота. Это приводит к образованию сателлитов запрещенных линий.

В рамках квазистатического приближения описаны далекие крылья спектральных линий. При не очень высоких давлениях форма квазистатических крыльев определяется бинарными столкновениями. Интересной особенностью квазистатических крыльев являются сателлиты спектральных линий, обусловленные экстрем-

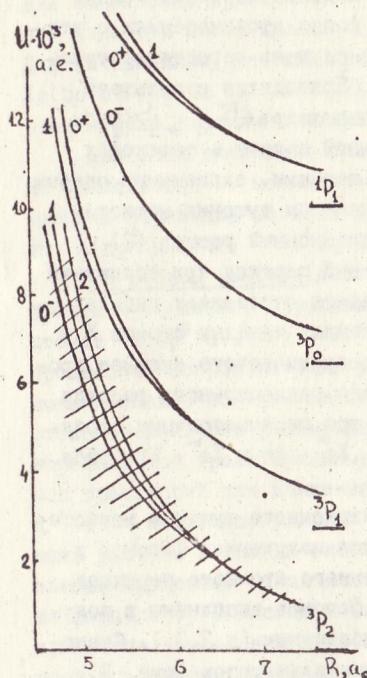


Рис. 1. Термы квазимолекулы $\text{Ar}(3p^5 4S) + \text{He}$. Экспериментальные потенциалы U при вариации параметров взаимодействия в указанных пределах заполняют заштрихованную область.

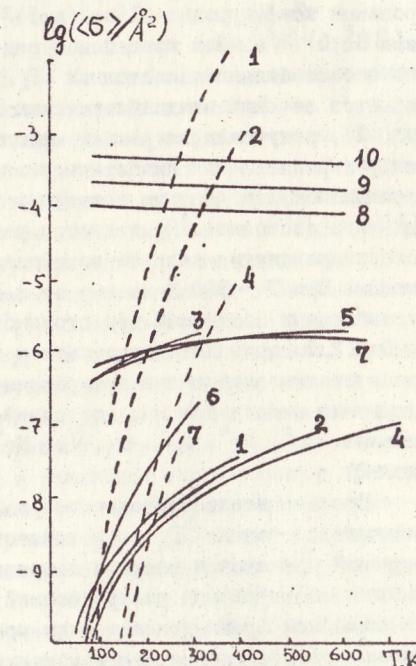


Рис. 2. Сечения $\langle \sigma_{paa}(T) \rangle$ и $\langle \sigma_{2-4}(T) \rangle$ (сплошные и штриховые кривые)

процессов (1) и (2).

1 - $\text{Ne}^* + \text{He}$, 2 - $\text{Ar}^* + \text{He}$, 3 - $\text{Ar}^* + \text{Ne}$,
 4 - $\text{Kr}^* + \text{He}$, 5 - $\text{Kr}^* + \text{Ne}$, 6 - $\text{Xe}^* + \text{He}$,
 7 - $\text{Xe}^* + \text{Ne}$, 8 - $\text{Xe}^* + \text{Ar}$, 9 - $\text{Kr}^* + \text{Ar}$,
 10 - $\text{Xe}^* + \text{Kr}$.

мумами разностных потенциалов взаимодействия. Поэтому в п. 2.4. приводятся результаты расчетов квазистатических крыльев резонансных атомных линий атомов Ne^* , Ar^* , Kr^* , Xe^* в смесях этих газов с Не или Ne . Особое внимание уделяется спектральной области, содержащей сателлиты линий (рис. 4).

В связи с современными исследованиями процессов с участием поляризованных атомов интерес представляют процессы деполяризации атомов инертных газов в низких возбужденных состояниях

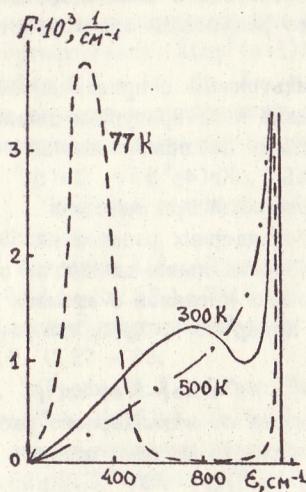


Рис. 3. Спектральное распределение фотонов при реакции (2) в случае столкновения $\text{Ar}^* + \text{He}$.

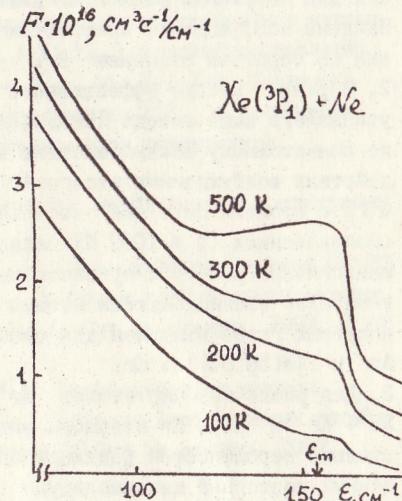


Рис. 4. Коротковолновые квазистатические крылья резонансной линии $\text{Xe}(^3\text{P}_1) - \text{Ne}$ атомов Xe в неоне.

которые происходят в результате столкновения поляризованных атомов X^* с атомами буферного газа. Оценка сечений деполяризации выполнена в п. 2.5. (табл.) в приближении внезапного изменения типа связи для несимметричных столкновений $\text{Ar}(4S)$, $\text{Kr}(5S)$, $\text{Xe}(6S) + \text{Ne}$, Ar , Kr , Xe . Сечения деполяризации для всех состояний атома ${}^3\text{P}_1$ практически совпадают. Отмечается хорошее согласие результатов расчета с экспериментом.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе:

I. В рамках метода псевдопотенциала развита техника вычисления матричных элементов оператора взаимодействия возбужденной атомной частицы $A^{(z-1)+} (n\ell)$ с атомами в основном состоянии $M(^1S_0)$, $M = \text{He}$, Ne . Матричные элементы при $\ell \leq 2$ представляются в виде однократных интегралов от произведений невозмущенных радиальных атомных волновых функций $f_{nl}^*(r) f_{l+1,l}(r)$.

Для случая произвольного атома $M(^1S_0)$ получены выраже-

ния для матричных элементов дальнодействующего взаимодействия. Найдены коэффициенты асимптотического разложения взаимодействия по обратным степеням R .

2. В рамках метода эффективного гамильтониана с привлечением указанного выше метода псевдопотенциала и литературных данных по ион-атомному взаимодействию вычислены потенциалы взаимодействия возбужденных атомов $\text{Ar}(3p^5 4S)$, $\text{Kr}(4p^5 5S)$, $\text{Xe}(5p^5 6S)$ с атомами He и Ne во всей достижимой при тепловых столкновениях ($T \leq 1000 \text{ K}$) области межядерных расстояний.

Аналогичный расчет с привлечением дополнительных данных по потенциалам взаимодействия атомов щелочных металлов с атомами инертных газов выполнен для систем $\text{Kr}(4p^5 5S)$, $\text{Xe}(5p^5 6S) + \text{Ar}$ и $\text{Xe}(5p^5 6S) + \text{Kr}$.

3. Для различных пар атомов Ar^* , Kr^* , $\text{Xe}^* + \text{He}$, Ne ; Kr^* , $\text{Xe}^* + \text{Ar}$ и $\text{Xe}^* + \text{Kr}$ получены зависимости от межядерного расстояния вероятностей радиационных переходов из всех возбужденных состояний квазимолекулы $X(\text{pr}^5(n+1)S) + Y(^1S_0)$ в основное состояние $X(^1S_0) + Y(^1S_0)$.

4. Вычислены температурные зависимости коэффициентов диффузии возбужденных атомов в смесях инертных газов. Показано, что коэффициенты диффузии для атомов в различных состояниях, принадлежащих конфигурации $\text{pr}^5(n+1)S$, практически совпадают.

5. Выполнен анализ и расчет сечений процессов тушения метастабильного состояния 3P_2 при несимметричных столкновениях атомов инертных газов $X(\text{pr}^5(n+1)S ^3P_2) + Y(^1S_0)$, где Y – более легкий атом. Показано, что для легких атомов X и Y при $T \sim 300 \text{ K}$ основным механизмом тушения являются неадиабатические переходы $^3P_2 \rightarrow ^3P_1$, тогда как для тяжелых – радиационный распад.

6. Вычислены спектральные распределения фотонов, излучаемых в процессе столкновительно-индированного радиационного распада метастабильного состояния 3P_2 атомов Ar , Kr и Xe в гелии и неоне. Обсуждаются особенности спектральных распределений в зависимости от температуры газовой смеси.

7. В рамках квазистатического приближения для различных температур вычислены спектральные профили далеких крыльев резонансных линий атомов Ne , Ar , Kr и Xe в гелии и неоне.

8. В приближении внезапного изменения типа связи рассчитаны сечения деполяризации при несимметричных столкновениях атомов инертных газов $X(\text{pr}^5(n+1)S^4P_3) + Y(^1S_0)$ в условиях газовой ячейки ($X = \text{Ar}, \text{Kr}, \text{Xe}$ и $Y = \text{Ne}, \text{Ar}, \text{Kr}, \text{Xe}$). Показано, что сечения деполяризации для различных $^4, ^3P_3$ – состояний практически совпадают и слабо зависят от температуры.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Взаимодействие атомов $\text{Ne}(^3S)$, $\text{Ar}(^4S)$, $\text{Kr}(^5S)$, $\text{Xe}(^6S)$ + He . Диффузия возбужденных атомов в смесях инертных газов с гелием // Опт. и спектр. 1987. Т.62. В.1. С.27 – 33.
2. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Взаимодействие атомов $\text{Ar}(^4S)$, $\text{Kr}(^5S)$, $\text{Xe}(^6S)$ + Ne . Диффузия возбужденных атомов в смесях инертных газов с неоном. // Опт. и спектр. 1987. Т.62. В.2. С.264 – 271.
3. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Взаимодействие возбужденных атомных частиц с атомами в основном состоянии // Хим. физика. 1988. Т.7. №4. С.435 – 445.
4. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Столкновительно-индуцированный сателлит запрещенной динии $\text{Xe} \text{Br}^5S^3P_2 - ^1S_0$ ($\lambda = 149.1 \text{ нм}$) // Опт. и спектр. 1988. Т.64. В.4. С.737 – 744.
5. Загребин А.Л., Павловская Н.А., Церковный С.И. Радиационное тушение метастабильных состояний 3P_2 при несимметричных столкновениях атомов инертных газов. В кн.: X Всесоюзная конференция по физике электронных и атомных столкновений (Ужгород, 1988). Тезисы докладов, часть I. С.144.
6. Павловская Н.А. Квазистатическое уширение резонансных линий при несимметричных столкновениях атомов инертных газов. – В кн.: X Всесоюзная конференция по физике электронных и атомных столкновений (Ужгород, 1988). Тезисы докладов, часть II. С. 38.
7. Загребин А.Л., Павловская Н.А., Себякин Ю.Н. Столкновительное уширение спектральных линий в смесях инертных газов. – В кн.: XX съезд по спектроскопии (Киев, 1988). Тезисы докладов, С. 40.

8. Девдариани А.З., Загребин А.Л., Леднев М.Г., Павловская Н.А. Столкновительно-индуцированные сателлиты запрещенных атомных линий. - В кн.: XX съезд по спектроскопии (Киев, 1988). Тезисы докладов. С. 41.
9. Devdariani A.Z., Zagrebin A.L., Lednev M.G., Pavlovskaja N.A. Collision-induced Satellites of Forbidden Atomic Lines Transitions $^3P_2 - ^1S_0$ // In: IX-th International Conference on Spectral Line Shapes. Abstract of Contributed Papers. N. Copernicus University Press. Torun. 1988. P.D21.
10. Devdariani A.Z., Zagrebin A.L., Lednev M.G., Pavlovskaja N.A. Collision-induced Satellites of Forbidden Atomic Lines Transitions $^3P_2 - ^1S_0$ // In: XX-th European Group for Atomic Spectroscopy. Abstracts. Graz. 1988. P.465-467.
- II. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Неадиабатические переходы $^3P_2 \rightarrow ^3P_1$ при столкновениях метастабильных атомов Ar, Kr, Xe с атомами He и Ne // Хим. физика. 1989. №7. С.884 - 890.
12. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Радиационное тушение метастабильных состояний 3P_2 атомов Ar, Kr, Xe при столкновениях с атомами He и Ne // Опт. и спектр. 1989. Т.66. В.4. С.794 - 799.
13. Загребин А.Л., Леднев М.Г., Павловская Н.А. Сечения деполяризации при несимметричных столкновениях атомов инертных газов // II Всесоюзный семинар по оптической ориентации атомов и молекул. Ленинград, 1989. Тезисы докладов. С. I45.
14. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Столкновительные сателлиты запрещенных линий $^3P_2 - ^1S_0$ атомов Ar, Kr, Xe в гелии и неоне // Опт. и спектр. 1989. Т.66. В.5. С.996 - 1001.
15. Devdariani A.Z., Zagrebin A.L., Lednev M.G., Pavlovskaja N.A. Radiative Decay of Metastable 3P_2 -states in Slow Atomic Collisions // Abstr. Pap. XVI ICPEAK, New York, 1989. P.700.
16. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Квазистатические крылья резонансных линий атомов Ne, Ar, Kr и Xe в гелии // Опт. и спектр. 1990. Т.68. В.1. С.33-37.
17. Загребин А.Л., Павловская Н.А. Квазистатические сателлиты

резонансных линий атомов Ar, Kr и Xe в неоне // Опт. и спектр 1990. Т.68. В.3. С.497-503.

Таблица. Характеристики элементарных процессов, определяемых столкновениями атомов $X(\text{pr}^5(\text{n+1})\text{S}) + Y(^1\text{S}_0)$
при $T = 300 \text{ K}$

	X*	Ar(4S)		Kr(5S)		Xe(6S)	
		Y	Teор.	Эксп. ¹⁾	Teор.	Эксп.	Teор.
$\sigma N,$ 10^{19} $\text{с}^{-1}\text{см}^{-1}$	He	0.98	-	0.93	-	0.75	0.65 0.73
	Ne	0.79	0.55	0.63	-	0.53	0.51
	Ar	-		0.25	0.27	0.16	0.25
	Kr	-		-		0.12	-
$\langle \hat{G}_{\text{деп}} \rangle,$ A^2	Ne	28	26	31	-	36	38
	Ar	-		71	-	77	61
	Kr	68	-	-	-	92	-
	Xe	71	127	88	-	-	-
$\langle \hat{G}_{2 \rightarrow 1} \rangle,$ A^2	He	1.5(-4)	-	6.2(-7)	-	-	-
	Ne	-	-	-	-	7.7(-8)	-
$\langle \hat{G}_{\text{рад}} \rangle,$ A^2	He	2.0(-8)	-	1.4(-8)	-	1.6(-7)	-
	Ne	3.1(-6)	3.6(-5)*	2.0(-6)	-	2.3(-6)	3.1(-5)
	Ar	4.9(-5)	-	1.6(-4)	1.4(-4)*	5.5(-5)	7.0(-5)
	Kr	-	-	2.0(-4)	-	4.4(-4)	-

1) Ссылки на экспериментальные данные указаны в обзоре [1].
Запись 1.5(-4) соответствует $1.5 \cdot 10^{-4}$.

* Приводится полное сечение тушения состояния ${}^3\text{P}_2$.

Список цитируемой литературы

1. Девдариани А.З., Загребин А.Л. - В кн.: Химия плазмы. Вып. 15. М.: Энергоатомиздат. 1989. С.44-93.
2. Иванов Г.К. // Теор. и эксперим. химия. 1978. Т.14. №5. С.610-616.
3. Hennecart D., Magnou-Seeuws F.//J. Phys. 1985. V. B 18. №3. P.657-689.