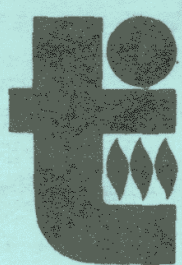


ПРЕПРИНТ № 3 - 333



ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

ИНСТИТУТ
ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУР

USSR
ACADEMY
OF SCIENCES

INSTITUTE
FOR HIGH
TEMPERATURES

МОСКВА
1991

СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ С МОЛЕКУЛАМИ
В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
СМЕСЯХ
И ВЛИЯНИЕ
КОЛЕБАТЕЛЬНОГО
ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЛЕКУЛ
НА КИНЕТИЧЕСКИЕ
КОЭФФИЦИЕНТЫ
ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАЗМЕ

Р.Ш.Исламов

Ю.Б.Конев

Б.А.Мирзакаримов

Р.Ш.Исламов, Ю.Б.Конев, Б.А.Мирзакаримов

СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С МОЛЕКУЛАМИ
В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЯХ
И ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЛЕКУЛ
НА КИНЕТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАЗМЕ

Препринт ИВТАН № 3-333. - М.: 1991, 53 с.

Выполнен детальный анализ сечений элементарных процессов столкновений электронов с молекулами и атомами, определяющих функцию распределения электронов по энергии в многокомпонентных смесях. Представлены результаты расчетов кинетических коэффициентов и баланса энергии электронов в смесях СО-лазеров в зависимости от колебательного возбуждения молекул. Они позволяют обоснованно выбрать режимы газового разряда для накачки лазера.

Ил. 7. Табл. 102. Библиогр. 74 наим.

I. Введение

Наиболее распространенным способом накачки CO- и CO₂-лазеров является газовый разряд. Для расчета энергетических характеристик, а в импульсном режиме - динамики усиления и генерации, необходимо знать распределение поступающей в разряд энергии по различным каналам и константы скорости возбуждения энергетических уровней электронным ударом. Для расчета разряда требуются такие параметры, как скорость дрейфа и коэффициент диффузии электронов, коэффициенты ударной ионизации и прилипания, которые вместе с константами скорости называют кинетическими коэффициентами. Эта информация важна также для диагностики разряда.

Общим методом расчета указанных характеристик является решение кинетического уравнения для функции распределения электронов по энергии (ФРЭЭ). Это уравнение получается в двучленном приближении решения общего уравнения Больцмана при условиях пространственной однородности, квазистационарности и слабой анизотропии ФРЭЭ [1]. Последние условия можно считать выполненными, если частота упругих столкновений электронов с молекулами значительно выше, чем упругих, как это имеет место в плазме газоразрядных лазеров, а характерное время изменения внешних условий, определяющих ФРЭЭ, значительно больше времени между неупругими столкновениями.

Аналитические методы решения кинетического уравнения применимы при определенных и довольно жестких предположениях о зависимости входящих в него эффективных сечений от энергии электронов. Обычно эти предположения плохо соответствуют действительности для сечений взаимодействия электронов с молекулами, входящими в состав лазерных смесей. Поэтому приходится прибегать к численному решению, учитывая реальную, получаемую из различных источников информацию о сечениях.

Существует большое число работ по расчету ФРЭЭ в газах (например, обзор [2]). В работах [3 - 7] численные расчеты ФРЭЭ были использованы для решения обратной задачи - нахождения входящих в кинетическое уравнение сечений упругих и неупругих процессов, согласующихся с экспериментальными данными по диффузии и подвижности электронов, коэффициентам ударной ионизации и диссоциативного прилипания. Полученные таким методом эффективные сечения многих процессов взаимодействия электронов с атомами инертных газов, молекулами азота, CO, H₂, O₂, CO₂, входящими в состав рабочих смесей CO- и CO₂-лазеров, были использованы в первых работах [8 - 12] для расчетов баланса энергии и кинетических

коэффициентов в лазерных смесях. Решение обратной задачи является важным источником информации о сечениях. Оно применялось во всех работах, в которых кроме проведения собственно расчетов ставилась также задача повышения их достоверности с учетом постоянно накапливавшейся новой информации. Однако решение обратной задачи не дает однозначных результатов о сечениях — их достоверность тем выше, чем в большей мере используется предварительная информация о сечениях, чем полнее учитывается совокупность возможных кинетических процессов и чем обширнее экспериментальные данные по кинетическим коэффициентам.

В течение довольно длительного времени, прошедшего после публикации работ [3 — 7], появилось много новых исследований по измерению кинетических коэффициентов, по расчетам и измерению сечений взаимодействия электронов с молекулами, возбуждению их вращательных, колебательных и электронных состояний. Эта новая информация позволила в значительной степени устранить недостатки, связанные с методологией этих работ, более полно обосновать результаты расчетов ФРЭЭ.

Полученная таким путем информация о сечениях представляет определенный интерес и для физики газового разряда. Она может быть использована и во многих задачах физики ионосферы, плазмохимии и других смежных областях. Следует, однако, иметь в виду, что основной метод обоснования сечений, представленных в нашей работе, — решение обратной задачи, именуемый в дальнейшем методом подгонки, не с одинаковой достоверностью позволяет обосновать сечения даже при использовании в максимальной степени существующей информации о зависимости сечений от энергии и их величине, а также о кинетических коэффициентах. Причина в том, что кинетические коэффициенты известны для гораздо меньшего числа процессов, чем приходится учитывать в расчетах, и известные кинетические коэффициенты в очень разной степени зависят от сечений того или иного процесса. Поэтому данные о сечениях тех процессов, которые оказывают большое влияние на решение обратной задачи, о которых известна теоретическая и/или экспериментальная информация по их зависимости от энергии и/или абсолютной величине, отнесены к классу рекомендуемых. Оценка величины их погрешности получена исходя из того, в каких пределах их изменение не приводит к рассогласованию с экспериментальной информацией по кинетическим коэффициентам, большему, чем погрешность существующих экспериментальных данных. Остальные данные о сечениях отнесены к классу информацион-

ных. Они в слабой степени влияют на результаты расчета кинетических коэффициентов, существующая о них информация получена качественными либо полуквантитативными методами и/или их величина в процессе подгонки может заметно измениться при учете тех процессов, которые могут происходить в плазме, но о которых нет никакой информации.

2. Сечения взаимодействия электронов с молекулами

2.1. Молекулы CO

Транспортное сечение взаимодействия электронов с молекулами CO получено в работе [6]. Оно подвергалось в дальнейшем некоторой коррекции рядом других авторов [13 - 15] с использованием более поздней информации по сечениям вращательного и колебательно-го возбуждения. В табл. I приведена величина этого сечения, взятая из наиболее полной работы [14] и нашего анализа методом подгонки.

Сечение вращательного возбуждения (табл. 2) взято в припороговой области из нашего анализа [13] в предположении, что форма сечения соответствует электрон-дипольному и электрон-квадратному взаимодействию, а в области резонансного взаимодействия - из теоретической работы [18], в которой оно было вычислено квантово-механическими расчетами с учетом образования короткоживущего отрицательного иона. Следует особо отметить, что в табл. 2 приведена комбинация сечений при учете переходов вплоть до 4-х квантовых, которую следует использовать в диффузионном приближении для вращательного возбуждения, когда член в кинетическом уравнении, соответствующий вращательному возбуждению, имеет вид $v \frac{d(u g_{rot}^+(u) f(u))}{du}$, где v - вращательная постоянная, $f(u)$ - ФРЭЭ, для CO $g_{rot} = 2g_{01} + 6g_{02} + 12g_{03} + 20g_{04}$; g_{0j} - приведенные в [16] сечения возбуждения j -квантовых переходов из основного состояния. Следует отметить также, что сечения [16] удовлетворительно согласуются с результатами измерений [17] при нескольких фиксированных энергиях.

Сечение одноквантового колебательного возбуждения в припороговой области определяется электрон-дипольным взаимодействием, а при энергии более 1 эВ - резонансным взаимодействием с образованием короткоживущего отрицательного иона. Оно представлено в

табл. 3 в виде суммы указанных процессов взаимодействия, причем форма сечения для первого процесса взята из теории электрон-дипольного возбуждения [18], для второго - из измерений [19]. Абсолютные величины сечений подверглись некоторой коррекции методом подгонки.

Сечения возбуждения U квантов из основного состояния в области резонансного возбуждения взяты по зависимости от энергии из измерений [19, 20], а абсолютные величины определены исходя из соотношения между этими сечениями и сечением одноквантового возбуждения, которые также взяты из работ [19, 20]. Эти сечения, вплоть до 10-квантового возбуждения, представлены в табл. 4-12. Результаты работы [19] в целом качественно согласуются с более ранними данными Шульца, обобщенными в его обзоре [21], но получены с учетом углового распределения рассеянных электронов без предположения [21] об изотропности рассеяния. В работе [20] сечения измерены для высоко расположенных уровней вплоть до 10, результаты [20] хорошо коррелируют именно с данными [19]. В припороговой области результаты [19] удовлетворительно коррелируют с данными [6, 18].

Сечение возбуждения наиболее низко расположенного электронного термина $d^3\Pi$ в целом взято из обзора [14], где обосновывается его выбор. Однако в припороговой области, которая в наибольшей степени влияет на коэффициент ионизации, его величина и форма были несколько изменены методом подгонки. В целом сечение представлено в табл. 13. Сечения возбуждения следующих электронных термов $d^3\Sigma^+$ и $d^3\Delta$ (табл. 14, 15), $b^1\Sigma^+$ (табл. 20) и процесса с порогом 13,5 эВ (табл. 22) взяты из расчета, приведенного в работе [22]. Сечения возбуждения термов $A^1\Pi$ (табл. 16), $c^1\Sigma^+$ (табл. 18), $b^3\Sigma^+$ (табл. 19) и $E^1\Pi$ (табл. 21) определены по данным феноменологической теории [23]. Для сечения возбуждения термина $D^1\Delta$ (табл. 17) использованы результаты [24]. Сечение ионизации CO (табл. 23) используется по данным широко известной работы [25].

2.2. Молекулы N_2

Транспортное сечение взаимодействия электронов с молекулами азота измерялось в ряде работ, начиная с [26]. Данные, представленные в табл. 24, обобщают результаты экспериментов [26 - 29], а также результаты, полученные в работе [30] методом подгонки. Они также несколько изменены нами в процессе сопоставления с экспериментальными данными по кинетическим коэффициентам.

Сечение возбуждения вращательных уровней азота в припороговой области получены методом подгонки. В области резонансного возбуждения форма сечения взята из феноменологической теории [31], но с нормировкой по измерениям [32]. В табл. 25 представлено сечение $Q_{rot} = 6Q_{02} + 20Q_{04}$, которое учитывает переходы до 4-х квантовых включительно в диффузионном приближении кинетического уравнения Больцмана.

Сечение возбуждения первого колебательного уровня (табл. 26) в припороговой области определено методом подгонки. В резонансной области сечения возбуждения колебательных уровней вплоть до 8-го (табл. 26-33) взяты по форме зависимости от энергии и соотношению между ними из измерений Шульца [33], но абсолютная величина сечений определена по сечению возбуждения первого уровня методом подгонки.

Сечение возбуждения метастабильного состояния $A^3 \Sigma_u^+$ было измерено в работе [34]. Вблизи порога это сечение несколько видоизменено по величине и характеру зависимости от энергии, чтобы получить согласование расчетного и измеренного коэффициента ионизации. Оно представлено в табл. 34.

Данные по сечениям возбуждения электронного термина $B^3 \Pi_g$ (табл. 35) получены из экспериментальной работы [35], сечение возбуждения термина $A^1 \Pi_g$ получено по данным эксперимента [34] (табл. 36). Данные по зависимости сечения $C^3 \Pi_u$ от энергии (табл. 37) взяты из экспериментальной работы [36], а величина в максимуме - из [35], по возбуждению термов $E^3 \Sigma_g^+$ (табл. 38) и термина с порогом 12,4 эВ (табл. 39) - из экспериментальной работы [37]. Измерение сечений возбуждения термина $B^1 \Pi_u$ (табл. 40) произведено в [38], термина $D^3 \Sigma_u^+$ (табл. 41) - в [39].

Сечение ионизации измерено в ставшей классической работе [25] (табл. 42).

2.3. Молекулы CO_2

Транспортное сечение CO_2 (табл. 43) измерялось во многих работах [40 - 42]. В области малых энергий форма сечения, полученная в работе [40], полностью сохранена, но величина несколько изменена методом подгонки. При энергии выше 0,5 эВ сечение, определенное в работах [41, 42], использовалось с незначительным изменением методом подгонки.

Сечение вращательного возбуждения CO_2 (табл. 44) в диффузионном приближении представляет собой $q_{\text{rot}} = 6q_{02} + 20q_{04}$. Входящие сюда сечения двух- и четырехквантового возбуждения почти без изменений взяты из теоретической работы [43], в которой рассматривалось возбуждение вращательных уровней в припороговой области и в области резонанса с образованием отрицательного иона.

Детальные результаты измерений сечений возбуждения нижних колебательных уровней всех трех мод CO_2 содержатся в работе [44]. Они несколько изменены по величине для согласования с кинетическими коэффициентами CO_2 (табл. 45-47). Сечения возбуждения последовательностей $(n0^0)$ и $(n1^0)$ определены из сечения возбуждения (01^10) с учетом сдвига резонанса с помощью относительных величин, приведенных в работе [45]. Они представлены в табл. 48-61 вплоть до величины $n = 8$.

Сечение диссоциативного прилипания CO_2 , хотя и не оказывает никакого влияния на ФРЭЭ вследствие своей малой величины, очень важно для определения баланса зарядов в смесях, содержащих CO_2 . Оно определено в широко известной работе [46] с очень хорошей точностью и представлено в табл. 62.

Сечения возбуждения электронных уровней CO_2 детально обсуждаются в работах [47, 48], откуда они взяты без изменений и представлены в табл. 63-69. Здесь особо следует отметить сечение процесса с порогом 6,1 эВ, которое отождествляется с диссоциацией CO_2 . Использование этого сечения в расчетах дает очень хорошее совпадение с экспериментальными данными по константе скорости диссоциации [47].

Сечение ионизации CO_2 измерено в работе [29] и представлено в табл. 70.

2.4. Молекулы O_2

Транспортное сечение O_2 измерялось во многих работах в различных диапазонах энергии электронов. В области малых энергий оно получено интерполяцией данных [49] и [22]. При средних энергиях оно взято из измерений [50], при больших энергиях - из измерений [51]. Транспортное сечение представлено в табл. 71.

Сечение вращательного возбуждения кислорода в диффузионном приближении имеет вид $q_{\text{rot}} = 10q_{13} + 28q_{15}$. При малых энергиях это сечение получено методом подгонки, в области резонансного взаимодействия использовались теоретические данные [31] (табл. 72).

Возбуждение колебательных уровней кислорода уже вблизи порога происходит через образование отрицательного иона $\text{O}_2^- (^2\Pi_g)$. Сечения возбуждения первых трех колебательных уровней в этой области определены в работе [52]. Форма и относительные величины сечений взяты из указанной работы, нормировка сечений произведена методом подгонки (табл. 73-75). Возбуждение колебательных уровней в резонансном процессе происходит и при более высоких энергиях электронов, наиболее вероятно через образование отрицательного иона $\text{O}_2^- (^4\Sigma_u^-)$. Эти сечения измерены в работе [52] и представлены в табл. 76-79.

Сечения возбуждения электронных термов $a^1\Delta_g$ и $b^1\Sigma_g^+$ по форме зависимости от энергии взяты из измерений [51]. Величина сечения $a^1\Delta_g$ несколько изменена методом подгонки, сечение $b^1\Sigma_g^+$ оставлено без изменений (табл. 80, 81). Сечение диссоциативного прилипания измерено в работе [46] и представлено в табл. 82. Сечение процесса с порогом 4,8 эВ получено методом подгонки (табл. 83). По-видимому, в этом процессе возбуждаются те же термы $A^3\Sigma_u^+$ и $C^1\Sigma$, что и с порогом 6,1 эВ. Сечения возбуждения этих термов, а также термов $B^3\Sigma_u^-$ и $3\Pi_g$ определены с учетом измерений, выполненных в работе [53], но существенно видоизменены, особенно в пороговой области, методом подгонки (табл. 84, 85). Сечение ионизации измерено в работе [25] (табл. 86).

2.5. Атомы He

Транспортное сечение гелия измерялось в работах [54 - 56] и представлено в табл. 87. Оно лишь незначительно изменено методом подгонки.

Сечение возбуждения уровня 2^3S измерено в работе [57] и представлено в табл. 88. Зависимость от энергии сечения возбуж-

денция уровня 2^1S получена в работе [58]. Нормировка этого сечения произведена по измерениям [57] (табл. 89). Сечение возбуждения уровня 2^3P (табл. 90) взято из измерений [59 - 61] с интерполяцией их результатов в различных интервалах энергии.

Сечение возбуждения уровня 2^1P получено обобщением результатов измерений [57], [58], [62] (табл. 91). Сечения процессов с возбуждением уровней 3^1P , 4^1P и 5^1P взяты из расчетов [63] (табл. 92-94). Сечение ионизации гелия измерено в работе [25] и приведено в табл. 95.

2.6. Атомы Ar

Транспортное сечение атомов аргона взято из измерений [64]. Оно лучше всего согласуется с измеренными кинетическими коэффициентами (табл. 96).

Сечения возбуждения уровней $3P_2$ и $3P_0$ измерено в работе [65] (табл. 97), уровней $1P_1$ и $3P_1$ - в работе [66] (табл. 98). Суммарное сечение уровней $3s^5$ измерено в работе [67] (табл. 99). Сечение ионизации измерено в работе [25] и приведено в табл. 100

3. Сечения взаимодействия с колебательно-возбужденными молекулами CO и N_2

Во многих случаях колебательное возбуждение молекул CO и N_2 в газовом разряде довольно велико, и его необходимо учитывать в балансе энергии электронов. Оказывает оно значительное влияние и на константы скорости возбуждения электронных уровней и ионизации. Чтобы его учесть в кинетическом уравнении Больцмана для ФРЭД, нужно знать сечения взаимодействия электронов с колебательно-возбужденными молекулами. Полуэмпирическая теория [68] рекомендует следующее выражение для сечений перехода с n -го на m -й колебательный уровень

$$Q_{nm}(n) = \frac{Q_0}{U} \left| \sum_k \frac{\langle m/k \rangle \langle k/n \rangle}{U - U_0 + m h \nu - k h \nu_i + i \Gamma / 2} \right|^2,$$

где U - энергия налетающего электрона; Q_0 - общий нормировочный множитель, не следующий из теории; $h \nu$ - квант колебаний молекулы; U_0 - энергия автоионизационного состояния отрицательного иона; $h \nu_i$ и Γ - его колебательный квант и ширина резонанса; $|\langle m/k \rangle|^2$ - коэффициенты Франка-Кондона для переходов между молекулами в m -ом колебательном состоянии и отрицательного иона в k -ом состоянии. Суммирование производится по колебательным состояниям иона. Величины Q_0 , U_0 , $h \nu_i$, Γ и межъядерное расстояние иона в основном колебательном состоянии R_0 следует по-

добрать так, чтобы получить наилучшее согласие с результатами измерений сечений возбуждения из основного колебательного состояния молекулы [19, 33], вычисляя матричные элементы $\langle m/k \rangle$ в приближении осциллятора Морзе. Эта работа проделана в работах [68, 69]. Соответствующие результаты для молекул CO и N_2 приведены в табл. I01 и I02. Кроме того, в сечениях каскадных процессов необходимо учитывать вклад потенциального возбуждения, $q_{n,n+1}^{(pot)}(u) = (n+1)q_{n+1}^{(pot)}(u)$, где $q_{n+1}^{(pot)}(u)$ представлено в табл. 3 и 26 соответственно для CO и N_2 .

4. Обоснование выбора сечений

Обоснование представленных в табл. I-100 сечений взаимодействия электронов с молекулами CO, N_2 , CO₂, O₂, He, Ar произведено в работах [13], [48], [70 - 73]. В этих работах детально сопоставлены результаты расчета и измерений скорости дрейфа, отношения коэффициента диффузии к подвижности электронов и коэффициентов ионизации для всех указанных молекул, а также константы скорости отдельных процессов и коэффициенты диссоциативного прилипания в тех случаях, когда соответствующая информация имеется. Во всех случаях получено очень хорошее совпадение результатов расчета и измерений, что позволяет рекомендовать представленные сечения для расчетов кинетических коэффициентов и баланса энергии электронов для многокомпонентных смесей, в том числе и с учетом колебательного возбуждения молекул.

5. Баланс энергии в колебательно-возбужденных смесях CO и N_2

Информация о сечениях взаимодействия электронов с молекулами, представленная выше, включает в себя известные на данный момент сведения о взаимодействии колебательно-возбужденных молекул CO, CO₂ и N_2 с электронами. В сочетании с разработанной ранее [71] методикой решения кинетического уравнения это дает возможность производить расчеты характеристик плазмы и баланса энергии электронов в любых многокомпонентных смесях CO- и CO₂-лазеров при произвольной степени колебательного возбуждения. Например, представляет интерес изучение относительного вклада в баланс энергии отдельных групп колебательно-возбужденных молекул при различных видах распределения их населенностей по колебательным уровням. Наиболее часто встречаются два типа таких распределений: бoльцмановское с колебательной температурой и квази-

стационарное с триноровской областью и плато [74]. В последнем случае переход от триноровской области к плато характеризуется числом Тринора ν^* - номером колебательного уровня, с которого начинается плато.

В качестве примера далее представлены результаты расчета баланса энергии электронов в колебательно возбужденном CO и его смесях с N_2 при квазистационарном распределении населенностей по колебательным уровням. Это распределение характеризуется двумя областями колебательных квантовых чисел: триноровское распределение при $\nu \leq \nu_T$ и область плато при $\nu > \nu_T$, ν_T - число Тринора [74]. Предполагалось также, что колебательные температуры T_{kCO} и T_{kN_2} нижних уровней молекул CO и N_2 связаны соотношением

$$\frac{E_{N_2}}{T_{kN_2}} - \frac{E_{CO}}{T_{kCO}} = \frac{E_{N_2} - E_{CO}}{T},$$

где E_{N_2} и E_{CO} - энергии первых колебательных уровней; T - температура газа; распределение молекул азота по колебательным уровням - больцмановское. В расчетах было принято, что $T_{kCO} = 3000$ К, $T = 150$ К.

На рис. 1 показан баланс энергии электронов в чистом CO. Эффективные колебательные температуры $T_{kv} = \frac{E_{\nu} - E_{\nu-1}}{k \ln(N_{\nu-1}/N_{\nu})}$ вблизи триноровского минимума и в области плато очень велики (15000-20000 К и более), поэтому при небольших величинах параметра E/N , когда средняя энергия электронов менее 1 эВ, на высоких уровнях будет преобладать передача энергии от молекул к электронам. Представление об этом эффекте можно получить из рис. 2, где показаны относительные доли энергии, передаваемые молекулам на уровнях ниже (1) и выше (2) триноровского, и рис. 3, на котором показаны относительные доли энергии, передаваемые молекулам с квантовыми числами $\nu \leq 8$ (1), где преобладает резонансное возбуждение колебаний молекул электронами, и $\nu > 8$ (2), где происходит каскадное нерезонансное возбуждение.

Баланс энергии электронов в невозбужденной смеси CO: N_2 :He = 1:9:10 показан на рис. 4, в смеси при $T_{kCO} = 3000$ К - на рис. 5. На рис. 6 и 7 представлены результаты расчета для смеси, аналогичные рис. 2 и 3. Сопоставление рис. 4 и 5 иллюстрирует эффект перераспределения энергии электронов между молекулами CO и N_2 при колебательном возбуждении молекул.

Представленная выше информация о сечениях взаимодействия электронов с молекулами и методика решения кинетического уравнения для ФРЭД позволяют производить расчеты кинетических коэффициентов и баланса энергии электронов в многокомпонентных смесях при произвольном колебательном возбуждении молекул.

Таблица I

Сечение столкновения с передачей импульса
для электронов в CO (транспортное сечение)

$$\Delta \ln q_m < 0,5; \text{РД}^*$$

U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,0	60,0	$5,0 \cdot 10^{-1}$	13,25
$1,0 \cdot 10^{-3}$	40,0	$1,0 \cdot 10^0$	16,0
$3,0 \cdot 10^{-3}$	17,7	1,2	41,0
$7,0 \cdot 10^{-3}$	9,8	1,3	43,0
$1,0 \cdot 10^{-2}$	7,5	1,5	43,5
$1,5 \cdot 10^{-2}$	5,0	1,7	40,0
$2,0 \cdot 10^{-2}$	4,5	1,9	32,0
$3,0 \cdot 10^{-2}$	5,1	2,1	215,0
$4,0 \cdot 10^{-2}$	5,17	$1,0 \cdot 10^1$	10,6
$5,0 \cdot 10^{-2}$	5,23	$2,0 \cdot 10^1$	9,8
$7,0 \cdot 10^{-2}$	5,7	$5,0 \cdot 10^1$	7,1
$1,0 \cdot 10^{-1}$	7,1	$1,0 \cdot 10^2$	5,5
$3,0 \cdot 10^{-1}$	12,33		

* РД - рекомендуемые данные.

Таблица 2

Вращательное сечение CO

 $\Delta \ln q_{\text{рот}} < 0,5$; $4,8 \cdot 10^{-4} \div 0,6$ РД; $0,6 - 10$ ИД *

U , эВ	$q_{\text{рот}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{рот}}$, 10^{-16} см ²
$4,8 \cdot 10^{-4}$	0	$3,0 \cdot 10^{-1}$	10,1
$5,0 \cdot 10^{-4}$	16,0	$6,0 \cdot 10^{-1}$	10,4
$6,0 \cdot 10^{-4}$	41,0	$1,1 \cdot 10^0$	16,1
$1,0 \cdot 10^{-3}$	90,7	1,3	26,3
$2,0 \cdot 10^{-3}$	84,3	1,75	488,0
$4,0 \cdot 10^{-3}$	48,3	2,0	142,4
$5,0 \cdot 10^{-3}$	27,2	2,4	57,9
$1,0 \cdot 10^{-2}$	17,0	4,0	40,9
$6,0 \cdot 10^{-2}$	13,4	5,0	43,0
$1,0 \cdot 10^{-1}$	11,3	$1,0 \cdot 10^1$	54,0

* ИД - информационные данные

Таблица 3

Сечение возбуждения $V = I$ колебательного уровня CO $0,266, \Delta \ln q_V (0 \rightarrow I) < 0,5$; РД

U , эВ	$q_V (0 \rightarrow I)$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_V (0 \rightarrow I)$, 10^{-16} см ²
0,266	0,0	1,74	6,01
0,29	$9,5 \cdot 10^{-2}$	1,82	6,65
0,32	$1,25 \cdot 10^{-1}$	1,9	$5,9 \cdot 10^0$
0,35	$1,44 \cdot 10^{-1}$	1,98	5,27
0,4	$1,56 \cdot 10^{-1}$	2,08	5,73
0,5	$1,59 \cdot 10^{-1}$	2,17	5,01
0,6	$1,57 \cdot 10^{-1}$	2,28	4,22
0,7	$1,54 \cdot 10^{-1}$	2,31	4,32
0,8	$2,3 \cdot 10^{-1}$	2,4	$3,77 \cdot 10^0$
0,9	$4,35 \cdot 10^{-1}$	2,68	2,48
1,0	$6,38 \cdot 10^{-1}$	3,0	1,3
1,2	$1,32 \cdot 10^0$	3,52	$5,5 \cdot 10^{-1}$
1,51	5,4	3,81	$2,8 \cdot 10^{-1}$
1,64	5,14		

Таблица 4

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 2$ в CO
0,526; ИД

U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 2)$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 2)$, 10^{-16} см ²
0,526	0,0	2,0	1,7
1,0	$6,0 \cdot 10^{-3}$	2,1	1,5
1,25	$1,0 \cdot 10^{-2}$	2,25	1,8
1,35	$9,0 \cdot 10^{-1}$	2,3	1,7
1,5	$2,4 \cdot 10^0$	2,4	1,4
1,6	2,2	2,5	1,4
1,7	1,8	2,6	1,0
1,8	2,4	2,85	$4,5 \cdot 10^{-1}$
1,9	2,6	3,2	0,0

Таблица 5

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 3$ в CO
0,784; ИД

U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²
0,784	0,0	2,1	1,15
1,2	0,001	2,2	0,6
1,4	0,005	2,3	0,65
1,6	1,5	2,33	0,7
1,65	1,7	2,4	0,55
1,7	1,5	2,5	0,3
1,83	1,75	2,6	0,38
1,9	0,6	2,65	0,4
1,95	0,75	2,75	0,2
2,05	1,3	3,0	0,0

Таблица 6

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 4$ в С0
1,039; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²
1,039	0,0	2,125	0,55
1,4	0,0005	2,16	0,6
1,42	0,055	2,25	0,5
1,625	1,1	2,35	0,18
1,7	1,2	2,4	0,2
1,8	0,95	2,5	0,25
1,925	0,4	2,7	0,15
1,97	0,3	3,0	0,0
2,05	0,4		

Таблица 7

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 5$ в С0
1,291; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 5)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 5)$, 10^{-16} см ²
1,291	0,0	2,2	0,07
1,6	0,003	2,3	0,25
1,8	0,73	2,35	0,3
1,9	0,85	2,4	0,2
2,0	0,65	2,9	0,0
2,15	0,15		

Таблица 8

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 6$ в С0
1,539; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 6)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 6)$, 10^{-16} см ²
1,539	0,0	2,3	0,05
1,7	0,015	2,35	0,005
1,9	0,5	2,4	0,1
2,0	0,65	2,5	0,2
2,07	0,6	2,62	0,0

Таблица 9

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 7$ в CO
1,784; ИД

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 7)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 7)$, 10^{-16} см ²
1,784	0,0	2,05	0,3
1,82	0,1	2,15	0,0
1,9	0,2	2,4	0,1
2,0	0,4	2,7	0,0

Таблица 10

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 8$ в CO
2,026; ИД

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 8)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 8)$, 10^{-16} см ²
2,026	0,0	2,48	0,01
2,2	0,039	2,6	0,02
2,3	0,079	2,8	0,0

Таблица 11

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 9$ в CO
2,2; ИД

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 9)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 9)$, 10^{-16} см ²
2,2	0,0	2,6	0,006
2,3	0,006	2,9	0,0
2,44	0,039		

Таблица 12

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 10$ в CO
2,36; ИД

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 10)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 10)$, 10^{-16} см ²
2,36	0,0	2,74	0,003
2,52	0,02	3,0	0,0

Таблица 13

Сечение возбуждения электронного уровня $\alpha^3\Pi$ в CO.
6,22; ИД

u , эВ	$q_{\text{эл}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	u , эВ	$q_{\text{эл}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
6,22	0,0	16,0	0,65
7,0	0,1	20,0	0,43
9,5	1,05	30,0	0,25
10,0	1,08	60,0	0,16
10,75	1,11	100,0	0,13
12,0	1,075		

Таблица 14

Сечение возбуждения электронного уровня $\alpha^3\Sigma^+$ в CO.
6,86; ИД

u , эВ	$q_{\text{эл}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	u , эВ	$q_{\text{эл}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
6,86	0,0	16,0	1,7
9,0	1,05	36,0	0,16
10,0	1,8	40,0	0,12
13,0	1,98	50,0	0,0

Таблица 15

Сечение возбуждения электронного уровня $\alpha^3\Delta$ в CO.
7,52; ИД

u , эВ	$q_{\text{эл}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	u , эВ	$q_{\text{эл}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
7,52	0,0	20,0	0,05
10,0	0,02	30,0	0,04
16,0	0,042	50,0	0,018
18,0	0,047	100,0	0,0

Таблица 16

Сечение возбуждения электронного уровня $A^1\Pi$ в CO
8,03; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
8,03	0,0	20,0	0,43
9,0	0,17	25,0	0,42
10,0	0,28	30,0	0,41
12,0	0,36	40,0	0,40
15,0	0,41	50,0	0,38
17,0	0,43		

Таблица 17

Сечение возбуждения электронного уровня $D^1\Delta$ в CO
10,4; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
10,4	0,0	30,0	0,34
13,1	0,22	40,0	0,3
20,0	0,32	100,0	0,15

Таблица 18

Сечение возбуждения электронного уровня $C^1\Sigma^+$ в CO
10,4; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
10,4	0,0	30,0	0,16
15,0	0,1	50,0	0,095
20,0	0,14	100,0	0,08

Таблица 19

Сечение возбуждения электронного уровня $6^3\Sigma^+$ в CO
10,4; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
10,4	0,0	30,0	0,015
12,0	0,064	40,0	0,013
15,0	0,083	50,0	0,012
16,0	0,08	70,0	0,012
20,0	0,048	100,0	0,01

Таблица 20

Сечение возбуждения электронного уровня $6^1\Sigma^+$ в CO
10,78; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
10,78	0,0	30,0	0,026
15,0	0,018	50,0	0,024
20,0	0,024	100,0	0,019

Таблица 21

Сечение возбуждения электронного уровня $E^1\Pi$ в CO
11,52; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
11,52	0,0	30,0	0,1
15,0	0,06	50,0	0,095
20,0	0,083	100,0	0,08

Таблица 22

Сечение возбуждения электронного уровня "13.5" в CO. 13,5; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
13,5	0,0	40,0	0,37
15,0	0,11	50,0	0,36
20,0	0,26	100,0	0,31
30,0	0,35		

Таблица 23

Сечение ионизации CO
 14,0; ИД, $\ln q_{ion} \approx 0,2$

U , эВ	q_{ion} , 10^{16} см ²	U , эВ	q_{ion} , 10^{16} см ²
14,01	0,0	18,5	0,297
14,5	0,027	21	0,516
15	0,061	24	0,766
15,5	0,077	32	1,381
16	0,106	55	2,243
17	0,177	100	2,65

Таблица 24

Сечение столкновения с передачей импульса
 для электронов в N₂. РД, $\Delta \ln q_m < 0,5$

U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,0	1,26	2,06	23,3
0,005	1,98	2,19	32,2
0,026	3,15	2,32	25,9
0,05	4,23	2,44	30,6
0,1	6,73	2,57	24,0
0,17	7,72	2,64	26,2
0,3	8,32	3,0	19,8
0,5	11,0	3,6	14,0
0,7	11,6	5,0	9,0
1,0	10,6	10,0	9,2
1,3	10,6	20,0	8,3
1,63	13,1	50,0	5,76
1,79	13,1	100,0	4,03
1,85	24,3		

Таблица 25

Вращательное сечение N_2 , РД, $\Delta \ln Q_{rot} < 0,5$
 0,16 - 50.ИД

U , эВ	Q_{rot} , 10^{-16} см ²	U , эВ	Q_{rot} , 10^{-16} см ²
0,0015	0,0	1,8	13,2
0,004	0,624	2,0	52,0
0,0079	0,96	2,47	131,5
0,01	1,25	2,75	123,0
0,04	2,5	3,6	75,0
0,09	1,8	4,0	66,0
0,16	2,3	5,5	70,0
0,25	2,9	9,0	115,0
0,5	2,0	13,5	140,0
1,0	6,5	50,0	88,0

Таблица 26

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow I$ в N_2 . РД

U , эВ	$Q_V(0 \rightarrow I)$, 10^{16} см ²	U , эВ	$Q_V(0 \rightarrow I)$, 10^{-16} см ²
0,29	0,0	2,23	1,4
0,3	0,001	2,27	2,38
0,33	0,002	2,31	2,8
0,4	0,003	2,38	2,18
0,75	0,005	2,42	1,39
1,0	0,008	2,48	1,08
1,2	0,014	2,53	1,21
1,42	0,03	2,57	1,79
1,63	0,23	2,61	2,0
1,72	0,86	2,67	1,68
1,83	2,57	2,78	0,562
1,91	2,48	2,82	0,882
1,98	2,59	2,88	0,704
2,03	3,02	2,92	0,373
2,08	2,11	3,11	0,78
2,12	1,15	3,33	0,39
2,18	0,77	5,0	0,0

Таблица 27

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 2$ в N_2
0,58; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 2)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 2)$, 10^{-16} см ²
1,84	0	2,43	1,97
1,99	0,98	2,49	1,39
2,03	1,76	2,53	1,37
2,08	2,15	2,63	0,26
2,14	1,57	2,74	1,06
2,24	0,59	2,93	0,185
2,34	0,28	3,03	0,6
2,38	0,96	3,23	0,196
		5,0	0

Таблица 28

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 3$ в N_2
0,87; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²
1,9	0	2,52	0,7
1,97	0,41	2,62	0,95
2,07	1,2	2,68	0,72
2,12	1,39	2,77	0,64
2,18	1,7	2,82	0,3
2,22	1,73	2,91	0,51
2,28	1,39	3,32	0,01
2,42	0,0	5,0	0

Таблица 29

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 4$ в N_2
1,16; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²
2,08	0	2,57	0,0
2,13	0,59	2,78	0,58
2,18	0,81	2,87	0,0

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²
2,28	1,51	3,01	0,23
2,34	1,3	3,22	0

Таблица 30

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 5$ в N_2
1,45; ИД

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 5)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 5)$, 10^{-16} см ²
2,12	0	2,62	0,012
2,17	0,41	2,72	0,14
2,22	0,6	2,82	0,42
2,27	0,75	2,93	0,42
2,42	0,99	3,03	0,02
2,47	0,99	3,22	0,21
2,52	0,85	3,33	0,004
		5,0	0

Таблица 31

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 6$ в N_2
1,74; ИД

u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 6)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$g_V(0 \rightarrow 6)$, 10^{-16} см ²
2,3	0	2,65	0,77
2,36	0,42	2,7	0,41
2,39	0,71	2,79	0,2
2,5	1,21	3,01	0,3
2,56	1,11	3,1	0,1
2,6	0,81	5,0	0

Таблица 32

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 7$ в N_2
2,03; ИД

U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 7)$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 7)$, 10^{-16} см ²
2,39	0	3,0	0,004
2,65	0,53	3,2	0,13
2,7	0,61	3,4	0,012
		3,5	0

Таблица 33

Сечение колебательного возбуждения $V = 0 \rightarrow 8$ в N_2
2,32; ИД

U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 8)$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_V(0 \rightarrow 8)$, 10^{-16} см ²
2,6	0	3,01	0,17
2,64	0,16	3,2	0,004
2,69	0,23	3,3	0,098
2,89	0,25	4,0	0

Таблица 34

Сечение возбуждения электронного уровня $A^3 \Sigma_u^+$ в N_2
6,7; РД; $\Delta \ln q_{el} < 0,5$

U , эВ	q_{el}^+ , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{el}^+ , 10^{-16} см ²
6,7	0,0	13,0	0,36
6,95	0,01	14,0	0,28
7,2	0,03	15,0	0,24
8,0	0,15	16,0	0,21
9,0	0,29	18,0	0,16
10,0	0,4	20,0	0,13
10,5	0,5	25,0	0,085
11,0	0,53	35,0	0,04
11,5	0,5	40,0	0,03
12,0	0,46	50,0	0,02

Таблица 35
Сечение возбуждения электронного уровня $B^3\Pi_g$ в N_2
7,5, ИД

U , эВ	$q_{\text{св}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{св}}$, 10^{-16} см ²
7,5	0,0	16,0	0,36
7,7	0,01	20,0	0,28
9,2	0,4	25,0	0,23
10,5	0,615	30,0	0,21
11,4	0,6	40,0	0,12
12,5	0,49	50,0	0,07
14,0	0,41		

Таблица 36
Сечение возбуждения электронного уровня $a^1\Pi_g$ в N_2
8,55, ИД

U , эВ	$q_{\text{св}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{св}}$, 10^{-16} см ²
8,55	0,0	22,0	0,27
9,0	0,015	24,0	0,26
10,0	0,085	30,0	0,23
12,0	0,22	35,0	0,17
13,0	0,27	40,0	0,15
15,0	0,36	50,0	0,
18,0	0,36	60,0	0,08
20,0	0,31	100,0	0,052

Таблица 37
Сечение возбуждения электронного уровня $C^3\Pi_u$ в N_2
11,0, ИД

U , эВ	$q_{\text{св}}$, 10^{-16} , см ²	U , эВ	$q_{\text{св}}$, 10^{-16} см ²
11,0	0,0	14,6	0,36
11,2	0,05	15,0	0,33
11,5	0,015	16,0	0,25
12,0	0,043	17,0	0,205
13,0	0,184	20,0	0,144
13,5	0,29	25,0	0,098

U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
13,7	0,37	30,0	0,081
14,0	0,4	40,0	0,063
14,3	0,39	50,0	0,054

Таблица 38
Сечение возбуждения электронного уровня $E^3 \Sigma_g^+$ в N_2
11,87; ИД

U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
11,87	0,0	12,23	0,07
12,0	0,02	12,35	0,04
12,06	0,04	12,5	0,023
12,16	0,07	13,0	0,0

Таблица 39
Сечение возбуждения электронного уровня "12,4" в N_2
12,4; ИД

U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
12,4	0,0	24,0	0,77
12,7	0,03	30,5	0,88
15,2	0,28	48,0	0,98
16,5	0,39	80,0	1,0
17,8	0,49	100,0	0,98
20,3	0,64		

Таблица 40
Сечение возбуждения электронного уровня $B^1\Pi_u$ в N_2
12,6; ИД

U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{ек}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
12,6	0,0	20,0	0,56
13,7	0,2	30,0	0,64
15,0	0,337	50,0	0,67
15,7	0,4		

Таблица 41

Сечение возбуждения электронного уровня $D^3\Sigma_u^+$ в N_2
12,84; ИД

u , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
12,84	0,0	20,0	0,01
16,0	0,015	50,0	0,006

Таблица 42

Сечение ионизации N_2
15,58; РД, $\Delta \ln q_{ion} < 0,2$

u , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²
15,58	0	28	0,875
16	0,021	32	1,152
17	0,071	40	1,575
18	0,129	50	1,935
19	0,198	65	2,27
21	0,344	95	2,51
25	0,64		

Таблица 43

Сечение столкновения с передачей импульса
для электронов в CO_2 (транспортное сечение)
РД, $\Delta \ln q_m < 0,5$

u , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,0	252	2,5	6,7
0,02	118	3,0	8,7
0,04	83	3,8	14,9
0,1	47,5	5,0	11,4
0,3	18,5	7,4	10,7
0,5	9,0	10,0	9,9
1,0	5,9	20,0	8,8
1,4	5,6	27,0	8,2
2,0	5,8	50,0	6,0

Таблица 44

Сечение

вращательного возбуждения CO_2 ; РД, $\Delta \ln q_{\text{rot}} < 0,5$
 0,15 - 50, ИД

u , эВ	q_{rot} , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_{rot} , 10^{-16} см ²
0,0003	0,0	3,0	41,4
0,0004	13,8	3,25	58,2
0,0007	21,0	3,7	166,2
0,0012	24,0	3,8	193,2
0,01	27,6	4,0	108,0
0,07	24,1	5,0	29,4
0,25	25,5	8,0	29,4
1,0	23,8	50,0	0,0
2,0	35,4		

Таблица 45

Сечение колебательного возбуждения $01^1 0$ в CO_2
 0,083, РД, $\Delta \ln q_v < 0,3$

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
0,083	0,0	0,2	2,03
0,085	0,9	0,3	1,49
0,09	1,44	0,5	0,96
0,1	2,07	1,0	0,54
0,11	2,34	1,9	0,34
0,12	2,44	2,4	0,49
0,135	2,54	3,3	1,31
0,16	2,43	3,7	1,75
		4,1	1,2
		4,5	0,55
		7,0	0,0

Таблица 46

Сечение колебательного возбуждения $10^0 0 + 02^0 0$ в CO_2
 0,167, ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
0,167	0,0	0,3	0,35

λ , эВ	q_V , 10^{-16} см ²	λ , эВ	q_V , 10^{-16} см ²
0,17	0,28	0,4	0,23
0,175	0,41	0,6	0,13
0,18	0,46	1,0	0,07
0,19	0,48	1,95	0,04
0,21	0,5	2,44	0,26
0,25	0,44	2,93	0,72
		3,32	1,13
		3,72	1,59
		4,11	1,08
		4,5	0,45
		7,0	0,00

Таблица 47

Сечение колебательного возбуждения 00^0I в CO_2
 0,29I, РД, $\Delta \ln q_V < 0,3$

λ , эВ	q_V , 10^{-16} см ²	λ , эВ	q_V , 10^{-16} см ²
0,29I	0,0	0,44	1,8
0,295	0,63	0,6	1,4
0,3	0,99	1,0	0,9
0,31	1,71	3,0	0,45
0,33	1,91	8,0	0,36
0,35	2,0	20,0	0,0
0,37	2,04		

Таблица 48

Сечение колебательного возбуждения $000 \rightarrow 110$ в CO_2
 0,25, ИД

λ , эВ	q_V , 10^{-16} см ²	λ , эВ	q_V , 10^{-16} см ²
2,0	0,0	3,73	0,65
2,48	0,1	4,12	0,45
2,96	0,29	4,5	0,19
3,35	0,46	7,0	0,0

Таблица 49

Сечение колебательного возбуждения $000 \rightarrow 20^0$ в CO_2
0,333, ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,05	0,0	3,75	0,93
2,52	0,15	4,13	0,65
2,99	0,42	4,50	0,28
3,37	0,66	7,0	0,00

Таблица 50

Сечение колебательного возбуждения $000 \rightarrow 21^1$ в CO_2
0,42, ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,1	0,0	3,77	0,97
2,56	0,065	4,14	0,26
3,03	0,17	4,51	0,12
3,39	0,27	7,0	0,00

Таблица 51

Сечение колебательного возбуждения $00^0 \rightarrow 30^0$ в CO_2
0,5, ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,15	0,0	3,78	0,62
2,60	0,11	4,14	0,44
3,06	0,29	4,51	0,21
3,41	0,45	7,00	0,00

Таблица 52

Сечение колебательного возбуждения $00^0 \rightarrow 31^1$ в CO_2
0,58, ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,2	0,0	3,8	0,25
2,64	0,048	4,15	0,18

ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²	ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²
3,08	0,12	4,51	0,09
3,44	0,18	7,00	0,00

Таблица 53
Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 40^00$ в CO_2
0,66, ИД

ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²	ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²
1,72	0,0	3,81	0,45
2,24	0,004	4,16	0,33
2,68	0,091	4,51	0,17
3,12	0,22	7,0	0,0
3,46	0,33		

Таблица 54
Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 41^10$ в CO_2
0,74, ИД

ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²	ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²
1,78	0,0	3,83	0,19
2,29	0,004	4,17	0,14
2,72	0,039	4,51	0,07
3,15	0,093	7,0	0,0
3,49	0,136		

Таблица 55
Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 50^00$ в CO_2
0,83, ИД

ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²	ν , эВ	q_{ν} , 10^{-16} см ²
1,85	0,0	3,85	0,33
2,35	0,012	4,18	0,24
2,76	0,073	4,51	0,13
3,18	0,166	7,0	0,0
3,51	0,24		

Таблица 56

Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 51^10$ в CO_2
0,91; ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
1,9	0	3,86	0,14
2,39	0,0069	4,19	0,11
2,8	0,033	4,52	0,06
3,21	0,071	7	0
3,54	0,102		

Таблица 57

Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 60^00$ в CO_2
0,99; ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
1,96	0	3,88	0,25
2,44	0,016	4,20	0,19
2,84	0,062	4,52	0,11
3,24	0,13	7	0
3,56	0,18		

Таблица 58

Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 61^10$ в CO_2
1,07; ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,02	0	3,89	0,118
2,49	0,009	4,21	0,092
2,88	0,031	4,52	0,054
3,27	0,063	7	0
3,58	0,088		

Таблица 59

Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 70^00$ в CO_2
I, 15; ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,08	0	3,91	0,22
2,54	0,02	4,21	0,17
2,92	0,061	4,52	0,1
3,3	0,118	7	0
3,6	0,163		

Таблица 60

Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 71^10$ в CO_2
I, 22; ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,13	0	3,92	0,11
2,58	0,011	4,22	0,086
2,95	0,031	4,52	0,053
3,33	0,059	7	0
3,62	0,080		

Таблица 61

Сечение колебательного возбуждения $00^00 \rightarrow 80^00$ в CO_2
I, 31; ИД

u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_v , 10^{-16} см ²
2,2	0	3,94	0,17
2,63	0,02	4,23	0,14
3,0	0,053	4,52	0,09
3,36	0,095	7	0
3,65	0,129		

Таблица 62

Сечение диссоциативного прилипания CO_2
 3,3; РД, $\Delta \ln q_{att} < 0,2$

U , эВ	q_{att} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{att} , 10^{-16} см ²
3,3	0,0	6,4	$1,055 \cdot 10^{-4}$
3,4	$1,76 \cdot 10^{-5}$	7,0	$0,687 \cdot 10^{-3}$
3,5	$6,16 \cdot 10^{-5}$	8,0	$4,24 \cdot 10^{-3}$
4,1	$1,27 \cdot 10^{-3}$	8,4	$3,79 \cdot 10^{-3}$
4,3	$1,48 \cdot 10^{-3}$	9,0	$0,783 \cdot 10^{-3}$
4,5	$0,282 \cdot 10^{-3}$	10,0	0,0
6,0	0,0	80,0	0,0

Таблица 63

Сечение диссоциации CO_2
 6,1; ИД

U , эВ	q_{dis} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{dis} , 10^{-16} см ²
6,1	0,0	7,2	0,17
6,4	0,07	7,7	0,084
6,8	0,23	8,7	0,035
6,9	0,25	12,0	0,0
7,0	0,23		

Таблица 64

Сечение возбуждения электронного уровня \sum_{μ}^+ в CO_2
 7,0; ИД

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
7,0	0,0	13,0	0,1
9,0	0,175	30,0	0,02
9,5	0,215	50,0	0,0
10,0	0,225		

Таблица 65
Сечение возбуждения электронного уровня $1\Delta_u$ в CO_2
8,0; ИД

u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²
8,0	0,0	22,0	0,156
10,0	0,065	30,0	0,16
12,0	0,106	200,0	0,0
15,0	0,144		

Таблица 66
Сечение возбуждения электронного уровня $1\Gamma_g$ в CO_2
9,0; ИД

u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²
9,0	0,0	20,0	0,178
11,0	0,065	30,0	0,19
13,0	0,114	200,0	0,0
15,0	0,14		

Таблица 67
Сечение возбуждения электронного уровня $1\Sigma_u^+$ в CO_2
11,1; ИД

u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²
11,1	0,0	20,0	0,637
13,0	0,196	25,0	0,714
15,0	0,371	30,0	0,756
18,0	0,581	200,0	0,0

Таблица 68
Сечение возбуждения электронного уровня "12,4" в CO_2
12,4; ИД

u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_{ек}$, 10^{-16} см ²
12,4	0,0	25,0	0,78
15,0	0,266	30,0	0,86

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
18,0	0,504	35,0	0,9
20,0	0,616	200,0	0,0

Таблица 69
Сечение возбуждения электронного уровня $^2\Pi_u$ в CO_2
17,3; ИД

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
17,3	0,0	50,0	0,55
25,0	0,16	100,0	0,72
30,0	0,27	1000,0	0,4

Таблица 70

Сечение ионизации CO_2
13,77; РД. $\Delta U q_{ion} < 0,2$

U , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²
13,77	0,0	24,0	0,67
14,5	0,055	60,0	2,0
15,5	0,136	100,0	2,25
17,0	0,255		

Таблица 71

Сечение столкновения с передачей импульса
для электронов в O_2 (транспортное сечение)
РД. $\Delta U q_m < 0,5$, 10,1 - 50,0 ИД

U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,0	1,0	2,6	5,3
0,1	4,6	3,0	5,5
0,18	6,2	4,0	6,5
0,2	6,2	4,83	6,66
0,23	4,5	6,68	7,84
0,25	4,2	8,55	8,9

U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,3	4,7	10,1	9,25
0,4	5,4	11,8	9,07
0,5	5,7	12,7	8,99
0,6	6,0	13,5	8,67
0,8	6,2	15,5	8,16
0,95	6,6	21,0	7,32
1,35	6,4	30,0	6,49
1,8	5,6	40,0	6,03
2,28	5,2	50,0	5,63

Таблица 72

Сечение вращения O_2 . РД, $\Delta \nu$ $q_{rot} < 0,5$
 $0,36 \div 50$, ИД

U , эВ	q_{rot} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{rot} , 10^{-16} см ²
$1,78 \cdot 10^{-3}$	0	$5,29 \cdot 10^0$	13,0
$2,68 \cdot 10^{-3}$	0,081	6,25	19,0
$5,38 \cdot 10^{-3}$	0,162	7,5	20,4
$1,18 \cdot 10^{-2}$	0,27	9,0	29,8
$4,2 \cdot 10^{-2}$	0,54	10,24	34,4
$9,2 \cdot 10^{-2}$	0,80	16,0	32,0
$3,6 \cdot 10^{-1}$	1,61	25,0	9,8
$1,0 \cdot 10^0$	2,68	50,0	0
1,96	4,5		

Таблица 73

Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 1$ в O_2
 $0,193$; РД, $\Delta \nu$ $q_v(0 \rightarrow 1) < 0,5$

U , эВ	$q_v(0 \rightarrow 1)$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_v(0 \rightarrow 1)$, 10^{-16} см ²
0,193	0,0	0,801	0,193
0,207	0,0198	0,857	0,0
0,268	0,0	0,914	0,112
0,33	0,0738	0,969	0,0
0,39	0,0	1,025	0,0554

$u, \text{эВ}$	$q_V(0 \rightarrow 1), 10^{-16} \text{см}^2$	$u, \text{эВ}$	$q_V(0 \rightarrow 1), 10^{-16} \text{см}^2$
0,45	0,247	1,08	0,0
0,51	0,0	1,135	0,0299
0,569	0,336	1,188	0,0
0,628	0,0	1,242	0,017
0,686	0,31	1,397	0,0
0,743	0,0		

Таблица 74
Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 2$ в O_2
0,383; ИД

$u, \text{эВ}$	$q_V(0 \rightarrow 2), 10^{-16} \text{см}^2$	$u, \text{эВ}$	$q_V(0 \rightarrow 2), 10^{-16} \text{см}^2$
0,383	0,0	1,025	0,061
0,45	0,0072	1,08	0,0
0,51	0,0	1,135	0,04
0,569	0,025	1,188	0,0
0,628	0,0	1,242	0,02
0,686	0,077	1,292	0,0
0,743	0,0	1,346	0,009
0,801	0,101	1,397	0,0
0,857	0,0	1,449	0,004
0,914	0,09	1,5	0,0
0,969	0,0		

Таблица 75
Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 3$ в O_2
0,57; ИД

$u, \text{эВ}$	$q_V(0 \rightarrow 3), 10^{-16} \text{см}^2$	$u, \text{эВ}$	$q_V(0 \rightarrow 3), 10^{-16} \text{см}^2$
0,5701	0,0	1,242	0,02
0,801	0,004	1,292	0,0
0,857	0,0	1,346	0,011
0,914	0,018	1,397	0,0
0,969	0,0	1,449	0,007
1,025	0,023	1,5	0,0

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²
1,08	0,0	1,55	0,004
1,135	0,023	1,6	0,0
1,188	0,0		

Таблица 76
Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 1$ в O_2
0,193; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 1)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 1)$, 10^{-16} см ²
1,0	0,0	9,5	0,57
2,0	0,725	10,0	0,53
3,0	0,038	11,0	0,4
4,0	0,057	12,0	0,29
5,0	0,062	13,0	0,168
6,0	0,176	14,0	0,126
7,0	0,29	15,0	0,076
8,0	0,465	16,0	0,038
8,5	0,53	17,0	0,013
9,0	0,57	18,0	0,0

Таблица 77
Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 2$ в O_2
0,383; ИД

u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 2)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_V(0 \rightarrow 2)$, 10^{-16} см ²
2,0	0,0	9,5	0,26
3,0	0,019	10,0	0,25
4,0	0,031	11,0	0,19
5,0	0,038	12,0	0,15
6,0	0,076	13,0	0,094
7,0	0,126	14,0	0,057
8,0	0,19	15,0	0,031
8,5	0,22	16,0	0,013
9,0	0,25	17,0	0,0

Таблица 78

Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 3$ в O_2
0,57; ИД

u , эВ	$q_v(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_v(0 \rightarrow 3)$, 10^{-16} см ²
5,0	0,0	10,0	0,126
6,0	0,023	11,0	0,1
7,0	0,05	12,0	0,082
8,0	0,1	13,0	0,044
8,5	0,118	14,0	0,025
9,0	0,132	15,0	0,006
9,5	0,132	16,0	0,0

Таблица 79

Сечение колебательного возбуждения $0 \rightarrow 4$ в O_2
0,7543; ИД

u , эВ	$q_v(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²	u , эВ	$q_v(0 \rightarrow 4)$, 10^{-16} см ²
6,0	0,0	10,0	0,069
7,0	0,035	11,0	0,057
8,0	0,063	12,0	0,038
8,5	0,069	13,0	0,025
9,0	0,075	14,0	0,013
9,5	0,075	15,0	0,0

Таблица 80

Сечение возбуждения электронного уровня σ_{el} в O_2
0,977; РД. $\Delta \ln q_{el} < 0,5$

u , эВ	q_{el} , 10^{-16} см ²	u , эВ	q_{el} , 10^{-16} см ²
0,977	0,0	8,34	0,0654
1,5	0,0097	10,6	0,0516
1,98	0,0162	12,2	0,0445
2,99	0,0324	15,9	0,0342
3,49	0,0387	20,5	0,0259
5,05	0,0589	24,9	0,0205
5,62	0,066	30,9	0,0157
6,19	0,071	41,0	0,011

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
6,99	0,0731	45,0	0,0096
7,61	0,0713	50,0	0,0088

Сечение возбуждения электронного уровня
1,627; РД, $\Delta \ln q_{ex} < 0,5$

Таблица 81
 $\sigma' \Sigma_g^+$ в O_2

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
1,627	0,0	9,26	0,0174
1,99	0,0046	11,8	0,0137
3,0	0,0115	15,8	0,0109
3,49	0,0136	20,7	0,0086
4,0	0,0158	31,2	0,0050
5,69	0,0194	45,1	0,0031
7,34	0,0191	50,0	0,0029
8,41	0,0183		

Таблица 82
Сечение диссоциативного прилипания O_2
4,2; РД, $\Delta \ln q_{att} < 0,3$

U , эВ	q_{att} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{att} , 10^{-16} см ²
4,2	0,0	6,7	$1,372 \cdot 10^{-2}$
4,6	$7,0 \cdot 10^{-4}$	7,0	$1,223 \cdot 10^{-2}$
5,0	$2,2 \cdot 10^{-3}$	7,5	$8,18 \cdot 10^{-3}$
5,5	$6,33 \cdot 10^{-3}$	8,0	$4,49 \cdot 10^{-3}$
6,0	$1,144 \cdot 10^{-2}$	8,5	$2,02 \cdot 10^{-3}$
6,3	$1,364 \cdot 10^{-2}$	9,0	$8,8 \cdot 10^{-4}$
6,5	$1,408 \cdot 10^{-2}$	9,5	$5,3 \cdot 10^{-4}$
		9,9	$3,5 \cdot 10^{-4}$

Таблица 83
Сечение возбуждения электронного уровня с порогом
4,8 эВ в O_2 , ИД

U , эВ	$q_{\text{вб}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вб}}$, 10^{-16} см ²
4,8	0,0	7,0	0,01
6,1	0,077	8,0	0,00
6,3	0,06		

Таблица 84
Сечение возбуждения электронных уровней
 $A^3 \Sigma_u^- + C^1 \Sigma$ в O_2 . 6,1; ИД

U , эВ	$q_{\text{вб}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вб}}$, 10^{-16} см ²
6,1	0,0	12,0	0,342
7,0	0,153	13,0	0,279
8,0	0,297	15,0	0,189
9,0	0,396	20,0	0,094
10,0	0,432	30,0	0,06
10,5	0,423	40,0	0,042
11,0	0,405	50,0	0,036

Таблица 85
Сечение возбуждения электронных уровней $B^3 \Sigma_u^-$ и $^3\Pi_g$ в O_2
8,4; ИД

U , эВ	$q_{\text{вб}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вб}}$, 10^{-16} см ²
8,4	0,0	20,0	0,86
9,0	0,3	30,0	1,0
10,0	0,46	40,0	1,11
12,0	0,61	50,0	1,18
14,5	0,72		

Таблица 86
Сечение ионизации O_2 . 12,063; РД, $\Delta \ln q_{\text{ион}} < 0,2$

U , эВ	$q_{\text{ион}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{ион}}$, 10^{-16} см ²
12,063	0,0	21,5	0,387

U , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²
12,5	0,0106	24,0	0,535
13,5	0,0405	26,0	0,655
14,5	0,0686	28,0	0,76
15,5	0,0985	30,0	0,897
16,5	0,136	34,0	1,15
17,5	0,18	38,0	1,36
18,5	0,229	40,0	1,47
19,5	0,279	45,0	1,7
20,5	0,333	50,0	1,8

Таблица 87

Транспортное сечение He; ИД

U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,0	5,0	2,0	6,1
0,001	5,0	7,0	5,0
0,01	5,4	10,0	4,1
0,1	5,8	20,0	3,0
0,2	6,2	100,0	1,0
1,0	6,5		

Таблица 88

Сечение возбуждения электронного уровня 2^3S в He
19,8; ИД

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
19,8	0,0	22,0	0,029
20,0	0,02	22,4	0,027
20,14	0,03	22,6	0,034
20,2	0,035	22,8	0,028
20,36	0,04	23,6	0,025
20,42	0,04	26,0	0,023
20,5	0,038	30,0	0,019
20,6	0,033	40,0	0,012
20,8	0,027	60,0	0,006

U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
21,04	0,033	100,0	0,0
21,3	0,026		

Таблица 89
Сечение возбуждения электронного уровня 2^1S в He
20,6; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
20,6	0,0	22,0	0,018
20,7	0,005	24,0	0,025
20,8	0,01	26,0	0,03
20,9	0,013	30,0	0,029
21,0	0,015	40,0	0,021
21,05	0,015	60,0	0,009
21,5	0,014	100,0	0,0

Таблица 90
Сечение возбуждения электронного уровня 2^3P в He
20,95; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
20,95	0,0	25,0	0,02
21,3	0,01	26,5	0,021
21,8	0,016	30,0	0,021
22,3	0,021	40,0	0,018
22,7	0,022	60,0	0,01
23,0	0,02	100,0	0,0
23,5	0,019		

Таблица 91
Сечение возбуждения электронного уровня 2^1P в He
21,2; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	U , эВ	$q_{\text{вк}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
21,2	0,0	30,2	0,045

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
22,1	0,005	50,0	0,085
23,1	0,01	60,0	0,095
24,1	0,015	80,0	0,11
26,5	0,025	200,0	0,075

Таблица 92
Сечение возбуждения электронного уровня $3^1 P$ в Ne
23,07; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
23,07	0,0	40,0	0,013
23,7	0,001	70,0	0,027
25,3	0,002	100,0	0,028
30,0	0,006	200,0	0,0

Таблица 93
Сечение возбуждения электронного уровня $4^1 P$ в Ne
23,75; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
23,75	0,0	60,0	0,009
33,0	0,003	80,0	0,011
44,0	0,006	900,0	0,0

Таблица 94
Сечение возбуждения электронного уровня $5^1 P$ в Ne
24,05; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
24,05	0,0	80,0	0,006
45,0	0,003	150,0	0,006
58,0	0,005	900,0	0,0

Сечение ионизации He
24,59; РД, $\Delta \ln q_{ion} < 0,2$

U , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ion} , 10^{-16} см ²
24,6	0,0	50,0	0,243
26,0	0,0175	70,0	0,321
30,0	0,0674	100,0	0,366
32,0	0,0924	140,0	0,372
50,0	0,171		

Таблица 96

Сечение столкновения с передачей импульса
для электронов в Аг (транспортное сечение)
РД, $\Delta \ln q_m < 0,5$

U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_m , 10^{-16} см ²
0,0	8,05	0,3	0,151
0,01	5,1	0,325	0,206
0,02	3,28	0,5	0,504
0,03	2,57	0,8	1,05
0,04	2,05	1,2	1,66
0,06	1,357	1,5	2,05
0,08	0,916	3,0	4,2
0,1	0,621	5,12	8,33
0,12	0,42	7,84	14,0
0,14	0,284	10,1	18,2
0,18	0,135	13,6	19,7
0,21	0,092	18,0	16,5
0,23	0,085	50,0	6,0
0,25	0,091		

Таблица 97

Сечение возбуждения электронного уровня $^1sP_2 + ^3P_0$ в Аг
II,5; ИД

U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²	U , эВ	q_{ex} , 10^{-16} см ²
11,5	0,0	19,6	0,342

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
13,1	0,067	22,0	0,35
13,9	0,067	23,4	0,34
14,7	0,1	26,9	0,3
16,3	0,3	34,4	0,2
18,1	0,3	50,0	0,08

Таблица 98
Сечение возбуждения электронного уровня $1P_I + 3P_I$ в Аг
11,62; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
11,62	0,0	22,8	0,133
12,7	0,02	28,2	0,228
13,6	0,05	34,2	0,249
15,8	0,075	39,7	0,288
19,8	0,123	48,3	0,316

Таблица 99
Сечение возбуждения электронного уровня $3p^5$ в Аг
13,2; ИД

U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{вк}}$, 10^{-16} см ²
13,2	0,0	50,0	0,30
22,5	0,31		

Таблица 100
Сечение ионизации Аг
15,75; РД, $\Delta U q_{\text{ион}} < 0,2$

U , эВ	$q_{\text{ион}}$, 10^{-16} см ²	U , эВ	$q_{\text{ион}}$, 10^{-16} см ²
15,75	0,0	23,0	1,06
16,0	0,02	24,0	1,18
17,0	0,134	26,0	1,41
18,0	0,294	30,0	1,8

$U, \text{эВ}$	$\varphi_{\text{ion}}, 10^{-16} \text{ см}^2$	$U, \text{эВ}$	$\varphi_{\text{ion}}, 10^{-16} \text{ см}^2$
19,0	0,46	34,0	2,11
20,0	0,627		
21,0	0,787	50,0	2,53
22,0	0,933	100,0	2,85

Таблица 101
Значения коэффициентов a_{mn}^* для CO_2 ИД

$m \setminus n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,36	-0,48	0,48	-0,41	0,33	-0,25	0,18	-0,13	0,09
1	0,56	-0,37	0,06	0,19	-0,32	0,38	-0,33	0,28	-0,22
2	0,56	0,05	-0,36	0,32	-0,11	-0,09	0,22	-0,29	0,30
3	0,42	0,41	-0,27	-0,11	0,31	-0,27	0,12	0,05	-0,17
4	0,25	0,50	0,13	-0,36	0,19	0,16	-0,25	0,24	-0,11
5	0,12	0,39	0,44	-0,12	-0,29	0,26	-0,03	-0,19	0,25
6	0,04	0,22	0,46	0,28	-0,30	-0,15	0,29	-0,16	-0,04
7	0,01	0,09	0,30	0,44	0,06	-0,38	0,02	0,25	-0,22
8	0,01	0	0,17	0,33	0,32	-0,16	-0,36	0,21	0,18

$$* Q_{n+m}^{\text{рез}} = \frac{1,25}{U} \left\{ \left[\sum_{k=0}^n \frac{a_{mk} a_{nk} (u + \alpha n - \beta - \delta k)}{\sqrt{(u + \alpha n - \beta - \delta k)^2 + \gamma^2}} \right]^2 + \left[\sum_{k=0}^n \frac{a_{mk} a_{nk} \delta}{\sqrt{(u + \alpha n - \beta - \delta k)^2 + \gamma^2}} \right]^2 \right\}$$

Рекуррентные соотношения для a_{mn} в N_2 имеют вид:

$$a_{00} = 0,48, \quad a_{m0} = \frac{1,46}{\sqrt{m}} a_{m-1,0}, \quad \text{при } m > 0,$$

$$a_{mn} = -\frac{1,96}{\sqrt{n}} a_{m,n-1} + 0,995 \sqrt{\frac{m}{n}} a_{m-1,n-1} - 1,01 \sqrt{\frac{m-1}{n}} a_{m-1,n-2}, \quad \text{при } m, n > 0.$$

Таблица 102

Коэффициенты модели

Формула и тип процесса	α	β	δ	γ
$\text{CO}(n) + e \rightarrow \text{CO}(m) + e$ колебательное возбуждение	0,27	1,5	0,23	0,15
$N_2(n) + e \rightarrow N_2(m) + e$ колебательное возбуждение	0,294	1,99	0,24	0,075

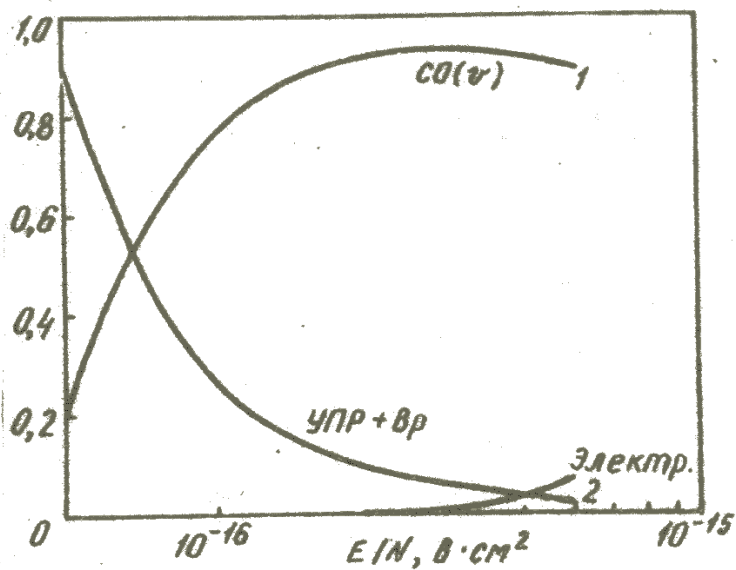


Рис. 1. Баланс энергии электронов в CO. $T_{\text{ксо}} = 3000 \text{ K}$; $T = 150 \text{ K}$

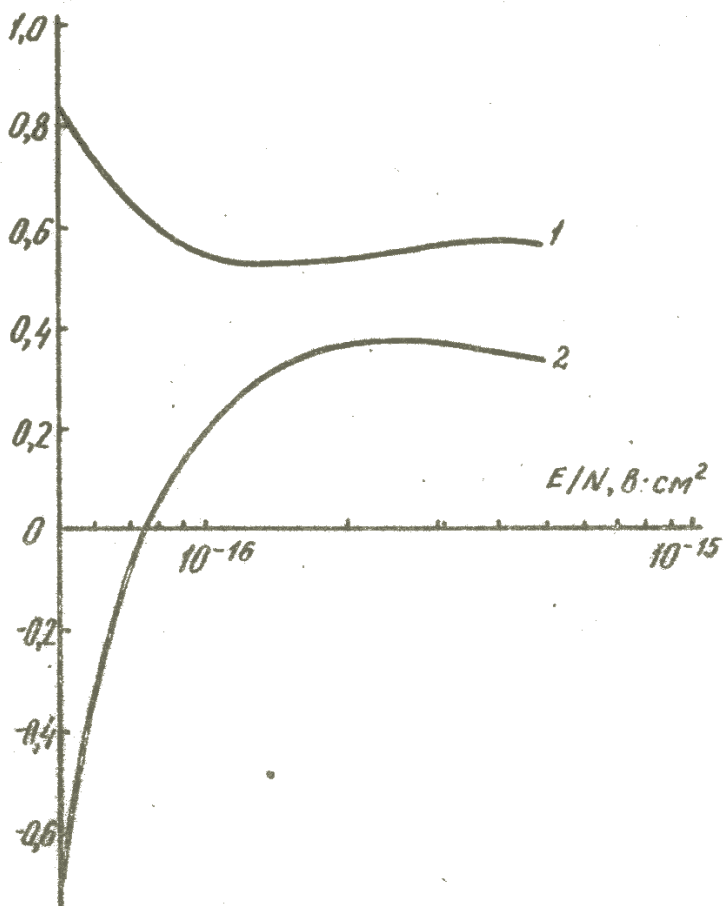


Рис. 2. Относительные доли энергии электронов возбуждения колебательных уровней CO:

1 - $v < v^*$; 2 - $v > v^*$;

v^* - число Тринора.

$T_{\text{ксо}} = 3000 \text{ K}$; $T = 150 \text{ K}$;

$\gamma_{\text{ксо}} = 4$

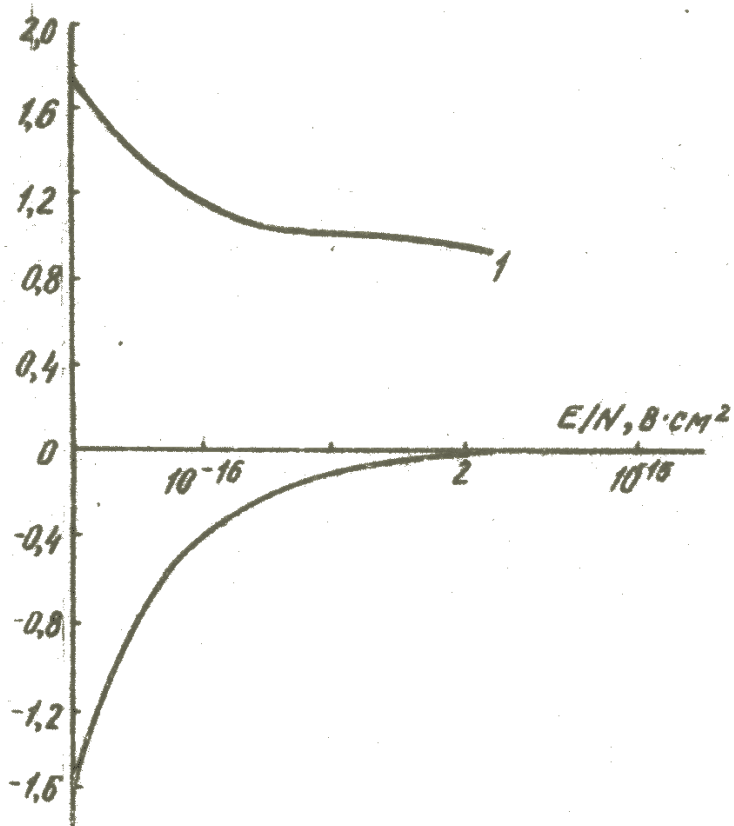


Рис. 3. Относительные доли энергии возбуждения колебательных уровней CO:

1 - в области резонансного взаимодействия с электронами $v < v^* = 8$; 2 - вне области резонансного взаимодействия $v > v^* = 8$

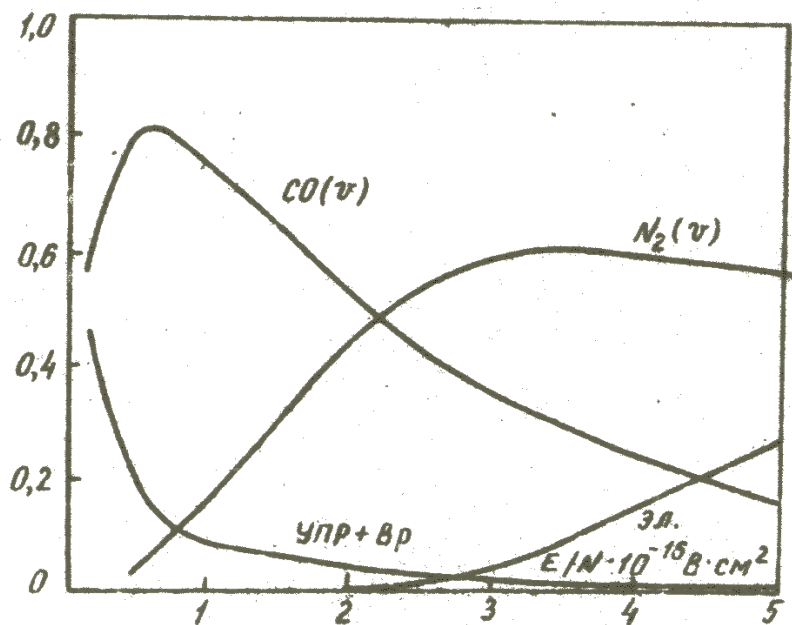


Рис. 4. Баланс энергии электронов в невозбужденной смеси CO: N₂: He = 1:9:10. $T_{\text{КСO}} = T_{\text{KN}_2} = T = 150 \text{ К}$

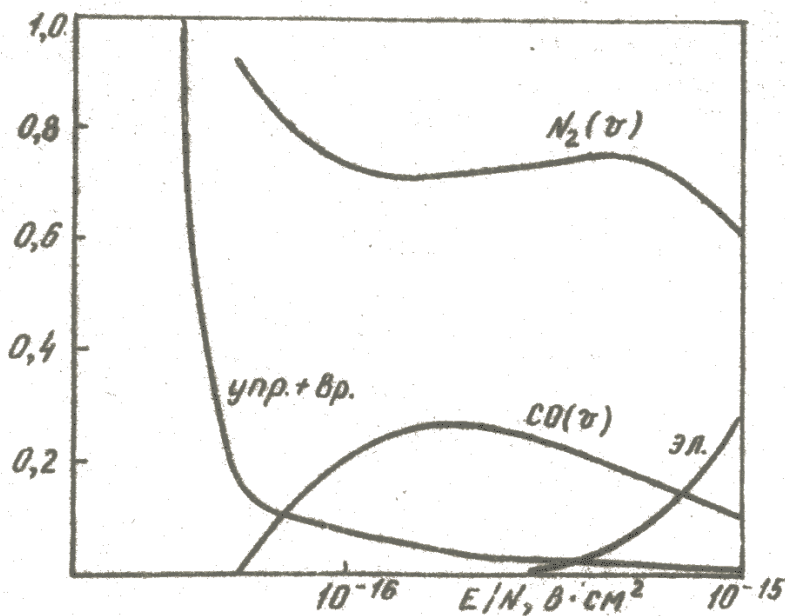


Рис. 5. Баланс энергии электронов в смеси $\text{CO}:\text{N}_2:\text{He} = 1:9:10$. $T_{\text{ксо}} = 3000 \text{ К}$, $T = 150 \text{ К}$

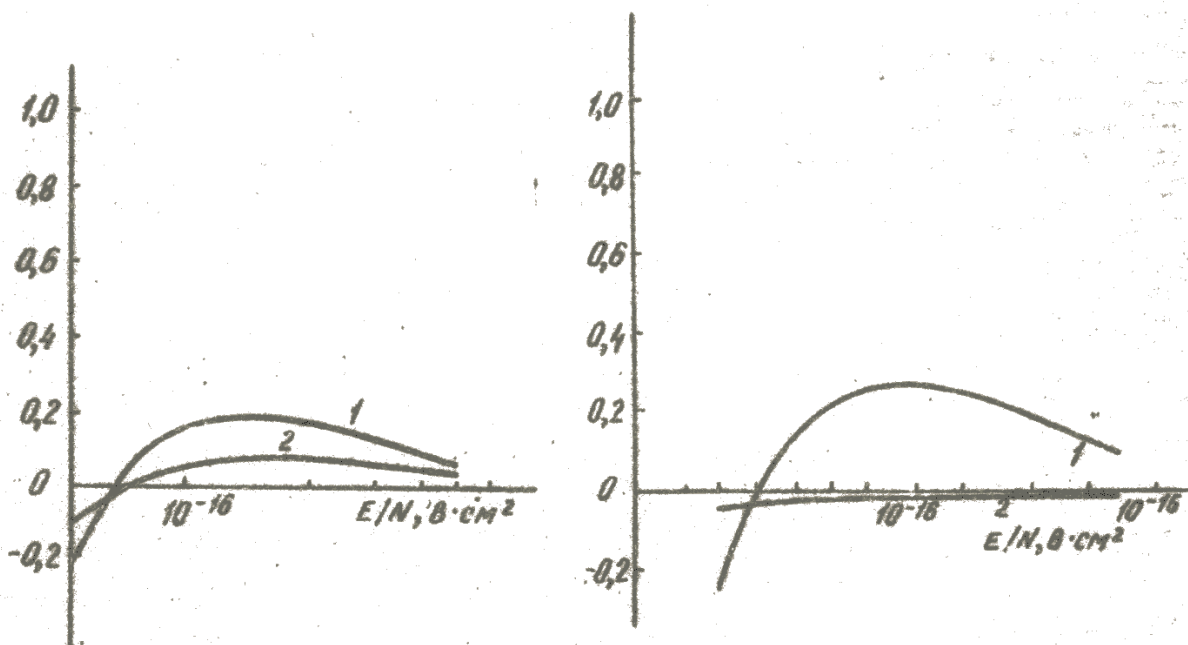


Рис. 6. Относительные доли энергии возбуждения колебательных уровней для смеси $\text{CO}:\text{N}_2:\text{He} = 1:9:10$:

1 - $\nu < \nu^*$; 2 - $\nu > \nu^*$; ν^* - число Тринора. $T_{\text{ксо}} = 3000 \text{ К}$, $T = 150 \text{ К}$; $\nu^* = 4$

Рис. 7. Относительные доли энергии возбуждения колебательных уровней смеси $\text{CO}:\text{N}_2:\text{He} = 1:9:10$ в области:

1 - резонансного взаимодействия с электронами; 2 - вне области резонансного взаимодействия $\nu > \nu^* = 8$

Литература

1. Holstein T. // Phys. Rev. 1946. V. 70. N 5. P. 367.
2. Александров Н.Л., Сон Э.Е. // Химия плазмы / Под ред. Б.М.Смирнова. 1980. Вып. 7. С. 35-75.
3. Frost L.S., Phelps A.V. // Phys. Rev. 1964. V. 136. N 6A. P. AI358.
4. Frost L.S., Phelps A.V. // Phys. Rev. 1962. V. 127. N 5. P. 1621.
5. Engelhardt A.G., Phelps A.V., Risk C.G. // Phys. Rev. 1964. V. 135. N 6A. P. AI566.
6. Hake R.D., Phelps A.V. // Phys. Rev. 1967. V. 158. N 1. P. 70.
7. Engelhardt A.G., Phelps A.V. // Phys. Rev. 1963. V. 131. N 6. P. 2115.
8. Nighan W.L., Bennet J.H. // Appl. Phys. Lett. 1969. V. 14. N 8. P. 240.
9. Nighan W.L. // Phys. Rev. 1970. V. 2. P. 1989.
10. Nighan W.L. // Appl. Phys. Lett. 1972. V. 20. N 2. P. 96.
11. Lowke J.J., Phelps A.V., Irwin B.W. // J. Appl. Phys. 1973. V. 44. N 10. P. 4664.
12. Лобанов А.Н., Сучков А.Ф. // Квантовая электроника. 1974. Т.1. №7. С. 1527.
13. Конев Ю.Б., Кочетов И.В., Марченко В.С. и др. Основные характеристики электрического разряда в плазме СО-лазеров: Препринт ИАЭ № 2810. 1977.
14. Land J.E. // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. P. 5716.
15. Александров Н.Л., Кончаков А.М., Сон Э.Е. // ЖТФ. 1979. Т. 49. № 6. С. 1194, 1200.
16. Chandra N. // Phys. Rev. A. 1977. V. 16. N 1. P. 80.
17. Jung K., Antoni Th. et al. // J. Phys. B.: Atom. Molec. Phys. 1982. V. 15. N 9. P. 3535.
18. Takayanagi K. // J. Phys. Soc. Japan. 1966. V. 21. P. 507.
19. Erhardt H. et al. // Phys. Rev. 1968. V. 173. P. 222.
20. Boness M.J.W., Schulz G.J. // Phys. Rev. A. 1973. V. 8. P. 2883.
21. Schulz G.J. // Rev. Mod. Phys. 1964. V. 45. N 3. P. 423.
22. Chung S., Lin C.C. // Phys. Rev. A. 1974. V. 9. N 5. P. 1954.
23. Sawada T., Sellin D.L., Green A.E.S. // J. Geophys. Res. 1972. V. 77. N 25. P. 4819.
24. Lee M.T., McKoy V. // J. Phys. B. 1982. V. 15. P. 3971.
25. Rapo D., Englander-Golden P. // J. Chem. Phys. 1965. V. 43. P. 1464.

26. Ramsauer C. // Ann. Phys. 1921. V. 64. P. 513.
27. Mertzoni M.H., Row R.V. // Phys. Rev. 1963. V. 130. P. 231.
28. Golden D.E. // Phys. Rev. Lett. 1966. V. 17. P. 847.
29. Srivastava S.K., Chutjian A., Trajmar S. // J. Chem. Phys. 1976. V. 64. P. 1340.
30. Engelhardt A.G., Phelps A.V., Risk C.G. // Phys. Rev. 1964. V. 135. N 6A. P. A1566.
31. Оксюк Ю.Д. // ЖЭТФ. 1965. Т. 49. С. 1261.
32. Jung K., Antoni Th. et al. // J. Phys. B. 1982. V. 15. P. 3535.
33. Schulz G.J. // Phys. Rev. 1964. V. 135A. P. 988.
34. Borst W. // Phys. Rev. 1972. V. A5. P. 648.
35. Stanton P.N., John R.M.St. // JOSA. 1969. V. 59. P. 252.
36. McConkey J.W., Simpson F.R. // J. Phys. B. 1969. V. 2. P. 923.
37. Brinkman R.T., Trajmar S. // Ann. Geophys. 1970. V. 26. P. 201.
38. Словецкий Д.И. // Моделирование и методы расчета физико-химических процессов в низкотемпературной плазме. - М.: Наука, 1974.
39. Скубеник В.В., Запесочный И.И. // ХВЭ. 1975. Т. 9. С. 387.
40. Ramsauer C., Kollach R. // Ann. Phys. 1930. V. 4. P. 91.
41. Bruche E. // Ann. Phys. 1927. V. 83. P. 1065.
42. Register D.F., Nishimura H., Trajmar S. // J. Phys. B. 1980. V. 13. P. 165.
43. Morrison M., Lane N. // Phys. Rev. A. 1977. V. 16. P. 975.
44. Bullos B.R., Schulz G.J. // Phys. Rev. A. 1976. V. 14. P. 615.
45. Boness M.J.W., Schulz G.J. // Phys. Rev. A. 1974. V. 9. P. 1969.
46. Rapp D., Briglia D.D. // J. Chem. Phys. 1965. V. 43. P. 1480.
47. Кочетов И.В., Певгов В.Г., Полак Л.С., Словецкий Д.И. // Плазменные химические процессы. ИХС АН СССР. М., 1979. С. 205.
48. Певгов В.Г. Кинетические процессы в газоразрядных лазерах: Дис. канд. физ.-мат. наук. МФТИ. М., 1977.
49. Nelson D.R., Davis F.J. // Bull. Am. Phys. Soc. 1972. V. 17. P. 391.
50. Brode R.D. // Rev. Mod. Phys. 1933. V. 5. P. 257.
51. Trajmar S., Cartwright D.S., Williams W. // Phys. Rev. 1971. V. 14. P. 1482.
52. Linder F., Smidt H. // Z. Naturforsch. 1971. V. 26A. P. 1617.
53. Trajmar S., Williams W., Kupperma A. // J. Chem. Phys. 1972. V. 56. P. 3759.
54. Pack J.L., Phelps A.V. // Phys. Rev. 1961. V. 121. P. 798.
55. Ramsauer C., Kollach R. // Ann. Phys. 1929. V. 3. P. 536.
56. Bruche E., Lilienthal D., Schroder K. // Ann. Phys. 1927. V. 84. P. 279.

57. Brongensma H.H., Knoop R.W.E., Bach C. // Chem. Phys. Lett. 1972. V. 13. P. 16.
58. Haal R.I., Reinhardt, Joyes G., Mazeau J. // J. Phys. B. 1972. V. 5. P. 66.
59. Jobe J.D., John R.M.St. // Phys. Rev. 1967. V. 164. P. 117.
60. Trajmar S. // Phys. Rev. 1973. V. 8A. P. 191.
61. Haal R.I., Joyes G. et al. // J. Phys. 1973. V. 34. P. 827.
62. McConkey J.W., Donaldson F.J., Hender M.A. // Phys. Rev. Lett. 1971. V. 26. P. 1413.
63. Scott T., McDowell M.R.C. // J. Phys. B. 1976. V. 9. P. 2235.
64. Milloy H.B., Crompton R.W. et al. // Austr. J. Phys. 1977. V. 30. P. 61.
65. Borst W.L. // Phys. Rev. A. 1974. V. 9. N 3. P. 1195.
66. McConcey J.W., Donaldson F.G. // Can. J. Phys. 1973. V. 51. P. 914.
67. Ballon J.K., Lin C.C. // Phys. Rev. A. 1973. V. 8. P. 1797.
68. Александров Н.Л., Кончаков А.М., Сон Э.Е. // ЖТФ. 1979. Т. 49. № 6. С. 1200.
69. Александров Н.Л., Кончаков А.М., Сон Э.Е. // Физика плазмы. 1978. Т. 4. № 5. С. 1182.
70. Карлов Н.В., Конев Ю.Б., Кочетов И.В., Певгов В.Г. Константы скорости и баланс энергии электронов в плазме газоразрядных CO_2 -лазеров: Препринт ФИАН № 91.-М., 1976.
71. Исламов Р.Ш., Конев Ю.Б., Липатов Н.И., Пашинин П.П. Кинетические коэффициенты и баланс энергии электронов в плазме смесей колебательно-возбужденного CO_2 с инертными газами: Препринт ФИАН № 50. - М., 1982.
72. Исламов Р.Ш., Кочетов И.В., Певгов В.Г. Анализ процессов взаимодействия электронов с молекулами O_2 : Препринт ФИАН № 169. - М., 1977.
73. Кочетов И.В. Расчет физических процессов в электрозарядных лазерах на окиси углерода: Дис.... канд. техн. наук. МТИ.-М., 1977.
74. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.

Р.Ш.Исламов, Ю.Б.Конев, Б.А.Мирзакаримов

СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С МОЛЕКУЛАМИ
В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЯХ
И ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ МОЛЕКУЛ
НА КИНЕТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАЗМЕ

Препринт № 3-333

Подписано к печати 20.II.91

Формат 60x84/16

Печать офсетная

Уч.-изд.л. 3,4

Усл.печ.л. 3,02

Тираж 200 экз.

Заказ № 2891

Цена 25 к.

АП "Шанс". 127412, Москва, Ижорская ул., 13/19