

СПЕКТРОСКОПИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 539.534.539.194

Интенсивности спектральных линий радиоактивного изотополога хлористого водорода H^{36}Cl **А.А. Маринина¹, Т.И. Величко², В.И. Перевалов¹✉***¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Тюменский индустриальный университет

625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Поступила в редакцию 11.07.2022 г.;

после доработки 13.09.2022 г.;

принята к печати 22.09.2022 г.

Представлены рассчитанные интенсивности трех полос поглощения 1–0, 2–0 и 3–0 радиоактивного изотополога хлористого водорода H^{36}Cl . Интенсивности линий были рассчитаны с использованием параметров эффективного дипольного момента, полученных с помощью изотопических соотношений из параметров одного из самых распространенных изотопологов этой молекулы H^{35}Cl . Параметры H^{35}Cl были подогнаны к интенсивностям линий, представленным в базе данных HITRAN2020.

Ключевые слова: радиоактивный изотополог, хлористый водород, полоса поглощения, интенсивность линий, параметр эффективного дипольного момента; radioactive isotopologue, hydrogen chloride, absorption band, line intensity, effective dipole moment parameter.

Введение

В 2022 г. в статье [1] было опубликовано первое экспериментальное исследование спектра поглощения радиоактивного изотополога хлористого водорода H^{36}Cl . Авторы этой работы зарегистрировали фундаментальную и первую обертоновую полосы. Был проведен вращательный анализ и определены спектроскопические постоянные для этих полос. В [2] теоретически рассчитаны центры линий четырех полос (0–0, 1–0, 2–0 и 3–0) этого изотополога на базе изотопически инвариантных спектроскопических постоянных, полученных ранее для молекулы хлористого водорода [3].

В настоящей работе в дополнение к центрам линий мы представляем интенсивности линий трех полос (1–0, 2–0 и 3–0) радиоактивного изотополога H^{36}Cl . Они были рассчитаны с использованием параметров эффективного дипольного момента, полученных с помощью изотопических соотношений [4] из параметров для одного из самых распространенных изотопологов этой молекулы H^{35}Cl .

Инфракрасный спектр H^{36}Cl может быть использован для детектирования этого радиоактивного изотополога в различных газовых смесях. Радиоактивный изотоп ^{36}Cl образуется в верхней атмосфере [5] и при химической реакции с водородом дает молекулу H^{36}Cl .

* Анастасия Александровна Маринина (lukashevskaya@iao.ru); Татьяна Ивановна Величко (tivel@list.ru); Валерий Иннокентьевич Перевалов (vip@iao.ru).

1. Интенсивности линий и параметры эффективного дипольного момента

Интенсивность линии поглощения колебательно-вращательного перехода $V'J' \leftarrow VJ$ выражается как

$$S_{V'J' \leftarrow VJ}(T) = \frac{8\pi^3}{3hc} C g \nu_{V'J' \leftarrow VJ} \frac{\exp(-hcE_{VJ}/kT)}{Q(T)} \times \left[1 - \exp\left(\frac{-hc\nu_{V'J' \leftarrow VJ}}{kT}\right) \right] W_{V'J' \leftarrow VJ}, \text{ см}^{-1}/(\text{мол} \cdot \text{см}^{-2}), \quad (1)$$

где T – температура, К; C – изотопическая распространенность; g – ядерный статистический вес; $\nu_{V'J' \leftarrow VJ}$ – волновое число перехода $V'J' \leftarrow VJ$; E_{VJ} – энергия нижнего состояния; c – скорость света в вакууме; h – постоянная Планка; k – постоянная Больцмана; $Q(T)$ – статистическая сумма; $W_{V'J' \leftarrow VJ}$ – квадрат дипольного момента перехода. Последний может быть записан в виде

$$W_{V'J' \leftarrow VJ} = |M_{\Delta V}|^2 f_{\Delta V}(V) H_{\Delta J}(J) \times (1 + b_{\Delta V}^V m + d_{\Delta V}^V m^2), \quad (2)$$

где $m = -J$ для P -ветви и $m = J + 1$ для R -ветви (J – квантовое число углового момента); $|M_{\Delta V}|$ – колебательный параметр эффективного дипольного момента; $f_{\Delta V}(V)$ – известная функция колебательного квантового числа V ($f_{\Delta V=1}(0) = 1$, $f_{\Delta V=2}(0) = 2$, $f_{\Delta V=3}(0) = 6$), $H_{\Delta J}(J)$ – фактор Хенля–Лондона

($H_{\Delta J=-1}(J) = J$, $H_{\Delta J=1}(J) = J + 1$); $b_J^{\Delta V}$ и $d_J^{\Delta V}$ — параметры Германа—Уоллиса. Это соотношение получено в рамках теории возмущения, когда в качестве нулевого приближения используются операторы энергии гармонического колебания и жесткого симметричного волчка.

В нашей работе [4] были получены изотопические соотношения для параметров:

$$M_{\Delta V=n}^* = \left(\frac{\mu}{\mu_*}\right)^{\frac{n}{4}} M_{\Delta V=n}, \quad (3)$$

$$(b_J^{\Delta V=n})^* = \sqrt{\frac{\mu}{\mu_*}} (b_J^{\Delta V=n}), \quad (4)$$

$$(d_J^{\Delta V=n})^* = \frac{\mu}{\mu_*} (d_J^{\Delta V=n}), \quad (5)$$

где μ — приведенная масса двухатомной молекулы, которая может быть выражена через массы атомов молекулы m_1 и m_2 следующим образом:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}; \quad (6)$$

знак звездочки используется для параметров изотопически замещенной молекулы.

2. Параметры эффективного дипольного момента для изотопологов H^{35}Cl и H^{36}Cl

Параметры эффективного дипольного момента для полос 1–0, 2–0 и 3–0 изотополога H^{35}Cl были подогнаны к интенсивностям линий, представленным в базе данных HITRAN2020 [6], с помощью соотношений (1) и (2). Чтобы соответствовать базе данных HITRAN2020, мы использовали $C = 0,757587$, $g = 8$ и $Q(296) = 160,654$. Подогнанные параметры эффективного дипольного момента и среднеквадратичные отклонения подгонок (*rms*) представлены в табл. 1. Параметры для полос 1–0 и 2–0 находятся в хорошем согласии с соответствующими параметрами из работ [7] и [8] (полоса 1–0). Параметр $M_{\Delta V=3}$ колебательного момента перехода удовлетворительно согласуется с параметром из [9].

Таблица 1

Параметры эффективного дипольного момента для полос 1–0, 2–0 и 3–0 изотополога H^{35}Cl				
Параметр	1–0	2–0	3–0	Множитель ^a
M , Д	73,075(29) ^b	5,6973(23)	0,23198(19)	10^{-3}
b_J	-1,328(23)	-0,2759(32)	0,6696(50)	10^{-2}
d_J	0,336(17)	1,835(28)	2,806(49)	10^{-4}
<i>rms</i> , %	0,42	0,54	0,70	

Примечание. *a* — параметры в соответствующем ряду должны быть умножены на представленный множитель; *b* — числа в скобках соответствуют одному стандартному отклонению в единицах последней значащей цифры.

Используя изотопические соотношения (3)–(5), мы пересчитали параметры из табл. 1 на изотополог H^{36}Cl . Соответствующие параметры представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры эффективного дипольного момента для полос 1–0, 2–0 и 3–0 изотополога H^{36}Cl				
Параметр	1–0	2–0	3–0	Множитель ^a
M , Д	73,061	5,6951	0,23185	10^{-3}
b_J	-1,327	-0,2758	0,6693	10^{-2}
d_J	0,336	1,834	2,804	10^{-4}

Примечание. *a* — параметры в соответствующем ряду должны быть умножены на представленный множитель.

Как видно из табл. 1 и 2, параметры эффективного дипольного момента практически совпадают для этих двух изотопологов благодаря тому, что их приведенные массы почти равны: $\frac{\mu(\text{H}^{35}\text{Cl})}{\mu(\text{H}^{36}\text{Cl})} = 0,9992283$.

3. Статистические суммы

Для того чтобы рассчитать интенсивности линий изотополога H^{36}Cl с полученными параметрами эффективного дипольного момента, необходимо знать статистические суммы для этого изотополога. Мы рассчитали их в приближении произведения вращательной статистической суммы на колебательную [10]:

$$Q(T) = Q_R(T)Q_V(T), \quad (7)$$

где вращательная статистическая сумма

$$Q_R(T) = \sum_{\text{все вращательные состояния}} gg_J e^{-\frac{hcE_R}{kT}}, \quad (8)$$

а колебательная

$$Q_V(T) = \sum_{\text{все колебательные состояния}} e^{-\frac{hcE_V}{kT}}, \quad (9)$$

g — ядерный статистический вес, $g = 10$ для всех вращательных уровней энергии изотополога H^{36}Cl ; $g_J = (2J + 1)$. Вращательные статистические суммы были рассчитаны для основного колебательного состояния на основе вращательных уровней энергии E_R , полученных с использованием параметров Данхэма из [2]. Расчет был проведен для температур от -50 до 50 °C с шагом в 1 °C. Предполагалось, что сходимость расчета достигнута, если вклад от неучтенного вращательного состояния меньше, чем $0,0001$. Колебательные статистические суммы были рассчитаны для того же самого интервала темпера-

тур в гармоническом приближении для колебательных энергий E_V . В этом приближении [11]:

$$Q_V(T) = \left(\frac{1}{1 - e^{-\frac{h\nu\omega}{kT}}} \right), \quad (10)$$

4. Рассчитанные центры и интенсивности линий H^{36}Cl

В табл. 4 приведены рассчитанные центры и интенсивности спектральных линий трех полос – 1–0, 2–0 и 3–0 радиоактивного изотополога H^{36}Cl .

Таблица 3

Статистические суммы H^{36}Cl

T, K	Q_R	Q_V	Q	T, K	Q_R	Q_V	Q
223	152,1693231	1,0000000042	152,1693	274	186,2522307	1,0000001520	186,2522
224	152,8373509	1,0000000046	152,8373	275	186,9207909	1,0000001609	186,9208
225	153,5053896	1,0000000050	153,5053	276	187,5893612	1,0000001703	187,5893
226	154,1734392	1,0000000054	154,1734	277	188,2579415	1,0000001801	188,2579
227	154,8414996	1,0000000059	154,8415	278	188,9265318	1,0000001905	188,9265
228	155,5095709	1,0000000064	155,5095	279	189,5951322	1,0000002013	189,5951
229	156,1776530	1,0000000069	156,1776	280	190,2637427	1,0000002127	190,2637
230	156,8457459	1,0000000075	156,8457	281	190,9323631	1,0000002247	190,9324
231	157,5138495	1,0000000082	157,5138	282	191,6009936	1,0000002372	191,6010
232	158,1819639	1,0000000089	158,1819	283	192,2696340	1,0000002503	192,2696
233	158,8500891	1,0000000096	158,8500	284	192,9382845	1,0000002641	192,9383
234	159,5182249	1,0000000104	159,5182	285	193,6069449	1,0000002785	193,6069
235	160,1863714	1,0000000112	160,1863	286	194,2756153	1,0000002936	194,2756
236	160,8545286	1,0000000121	160,8545	287	194,9442957	1,0000003094	194,9443
237	161,5226964	1,0000000131	161,5226	288	195,6129860	1,0000003259	195,6130
238	162,1908748	1,0000000141	162,1908	289	196,2816863	1,0000003432	196,2817
239	162,8590639	1,0000000152	162,8590	290	196,9503965	1,0000003613	196,9504
240	163,5272635	1,0000000164	163,5272	291	197,6191167	1,0000003802	197,6191
241	164,1954737	1,0000000177	164,1954	292	198,2878467	1,0000004000	198,2879
242	164,8636944	1,0000000191	164,8636	293	198,9565867	1,0000004206	198,9566
243	165,5319257	1,0000000205	165,5319	294	199,6253366	1,0000004421	199,6254
244	166,2001674	1,0000000220	166,2001	295	200,2940963	1,0000004646	200,2941
245	166,8684197	1,0000000237	166,8684	296	200,9628660	1,0000004881	200,9629
246	167,5366824	1,0000000254	167,5366	297	201,6316455	1,0000005125	201,6317
247	168,2049557	1,0000000273	168,2049	298	202,3004350	1,0000005381	202,3005
248	168,8732393	1,0000000293	168,8732	299	202,9692342	1,0000005647	202,9693
249	169,5415334	1,0000000314	169,5415	300	203,6380434	1,0000005924	203,6381
250	170,2098378	1,0000000337	170,2098	301	204,3068623	1,0000006213	204,3069
251	170,8781527	1,0000000361	170,8781	302	204,9756912	1,0000006514	204,9758
252	171,5464780	1,0000000386	171,5464	303	205,6445298	1,0000006828	205,6446
253	172,2148136	1,0000000413	172,2148	304	206,3133783	1,0000007154	206,3135
254	172,8831596	1,0000000441	172,8831	305	206,9822366	1,0000007494	206,9823
255	173,5515159	1,0000000472	173,5515	306	207,6511048	1,0000007847	207,6512
256	174,2198825	1,0000000504	174,2198	307	208,3199827	1,0000008215	208,3201
257	174,8882594	1,0000000538	174,8882	308	208,9888704	1,0000008597	208,9890
258	175,5566466	1,0000000574	175,5566	309	209,6577680	1,0000008995	209,6579
259	176,2250441	1,0000000612	176,2250	310	210,3266753	1,0000009408	210,3268
260	176,8934518	1,0000000652	176,8934	311	210,9955924	1,0000009837	210,9957
261	177,5618698	1,0000000695	177,5618	312	211,6645193	1,0000010283	211,6647
262	178,2302981	1,0000000740	178,2303	313	212,3334559	1,0000010746	212,3336
263	178,8987365	1,0000000788	178,8987	314	213,0024023	1,0000011227	213,0026
264	179,5671852	1,0000000838	179,5672	315	213,6713585	1,0000011726	213,6716
265	180,2356441	1,0000000892	180,2356	316	214,3403244	1,0000012244	214,3405
266	180,9041131	1,0000000948	180,9041	317	215,0093000	1,0000012782	215,0095
267	181,5725923	1,0000001007	181,5726	318	215,6782854	1,0000013339	215,6785
268	182,2410817	1,0000001069	182,2411	319	216,3472806	1,0000013917	216,3475
269	182,9095812	1,0000001135	182,9096	320	217,0162854	1,0000014516	217,0166
270	183,5780909	1,0000001204	183,5781	321	217,6853000	1,0000015136	217,6856
271	184,2466107	1,0000001277	184,2466	322	218,3543243	1,0000015780	218,3546
272	184,9151406	1,0000001354	184,9151	323	219,0233583	1,0000016446	219,0237
273	185,5836806	1,0000001435	185,5837				

где ω – частота гармонических колебаний. Частота $\omega = 2989, \text{см}^{-1}$ была получена с использованием коэффициентов Данхэма [2]. Вращательные, колебательные и полные (Q) статистические суммы представлены в табл. 3.

Центры линий взяты из работы [2]. Интенсивности линий рассчитаны для чистого изотополога ($C = 1$) и $T = 296 \text{ K}$ с использованием параметров эффективного дипольного момента и статистических сумм, полученных в настоящей работе.

Рассчитанные центры и интенсивности спектральных линий
для полос 1–0, 2–0 и 3–0 радиоактивного изотопа H^{36}Cl

m	1–0		2–0		3–0		
	ν , cm^{-1}	S	ν , cm^{-1}	S	ν , cm^{-1}	S	E_{low} , cm^{-1}
-25	2215,3727	1,568E-31	4817,6392	3,173E-33	7317,5265	1,737E-35	6562,5477
-24	2246,8454	1,614E-30	4863,2736	3,256E-32	7377,2874	1,791E-34	6072,9582
-23	2278,0276	1,523E-29	4908,0482	3,068E-31	7435,6163	1,697E-33	5600,6049
-22	2308,9068	1,318E-28	4951,9482	2,651E-30	7492,4968	1,474E-32	5145,7661
-21	2339,4702	1,043E-27	4994,9588	2,096E-29	7547,9124	1,174E-31	4708,7102
-20	2369,7050	7,536E-27	5037,0648	1,516E-28	7601,8464	8,547E-31	4289,6957
-19	2399,5982	4,970E-26	5078,2510	1,000E-27	7654,2818	5,684E-30	3888,9710
-18	2429,1367	2,985E-25	5118,5023	6,019E-27	7705,2017	3,449E-29	3506,7740
-17	2458,3073	1,631E-24	5157,8032	3,297E-26	7754,5891	1,906E-28	3143,3321
-16	2487,0966	8,095E-24	5196,1384	1,641E-25	7802,4271	9,578E-28	2798,8619
-15	2515,4913	3,644E-23	5233,4926	7,417E-25	7848,6988	4,373E-27	2473,5691
-14	2543,4780	1,486E-22	5269,8504	3,038E-24	7893,3871	1,810E-26	2167,6483
-13	2571,0430	5,478E-22	5305,1967	1,126E-23	7936,4755	6,787E-26	1881,2826
-12	2598,1730	1,823E-21	5339,5160	3,771E-23	7977,9473	2,300E-25	1614,6440
-11	2624,8544	5,468E-21	5372,7934	1,139E-22	8017,7860	7,036E-25	1367,8925
-10	2651,0736	1,475E-20	5405,0138	3,097E-22	8055,9753	1,938E-24	1141,1768
-9	2676,8171	3,569E-20	5436,1624	7,560E-22	8092,4993	4,795E-24	934,6332
-8	2702,0713	7,724E-20	5466,2244	1,652E-21	8127,3422	1,063E-23	748,3864
-7	2726,8229	1,489E-19	5495,1851	3,219E-21	8160,4883	2,102E-23	582,5488
-6	2751,0584	2,546E-19	5523,0304	5,565E-21	8191,9226	3,688E-23	437,2207
-5	2774,7645	3,825E-19	5549,7458	8,465E-21	8221,6301	5,698E-23	312,4899
-4	2797,9279	4,987E-19	5575,3176	1,118E-20	8249,5962	7,650E-23	208,4319
-3	2820,5354	5,509E-19	5599,7319	1,253E-20	8275,8067	8,714E-23	125,1097
-2	2842,5741	4,888E-19	5622,9753	1,129E-20	8300,2478	7,981E-23	62,5738
-1	2864,0309	2,938E-19	5645,0345	6,893E-21	8322,9059	4,959E-23	20,8621
1	2905,1479	3,127E-19	5685,5491	7,599E-21	8362,8216	5,665E-23	0,0000
2	2924,7830	5,539E-19	5703,9794	1,372E-20	8380,0542	1,041E-22	20,8621
3	2943,7860	6,645E-19	5721,1756	1,679E-20	8395,4543	1,298E-22	62,5738
4	2962,1447	6,401E-19	5737,1260	1,651E-20	8409,0103	1,301E-22	125,1097
5	2979,8473	5,222E-19	5751,8192	1,377E-20	8420,7114	1,105E-22	208,4319
6	2996,8819	3,696E-19	5765,2441	9,973E-21	8430,5473	8,160E-23	312,4899
7	3013,2370	2,299E-19	5777,3901	6,354E-21	8438,5079	5,300E-23	437,2207
8	3028,9014	1,267E-19	5788,2468	3,590E-21	8444,5837	3,052E-23	582,5488
9	3043,8639	6,216E-20	5797,8042	1,808E-21	8448,7657	1,567E-23	748,3864
10	3058,1137	2,726E-20	5806,0528	8,147E-22	8451,0453	7,201E-24	934,6332
11	3071,6403	1,072E-20	5812,9833	3,295E-22	8451,4145	2,970E-24	1141,1768
12	3084,4331	3,789E-21	5818,5868	1,199E-22	8449,8656	1,102E-24	1367,8925
13	3096,4823	1,205E-21	5822,8547	3,931E-23	8446,3915	3,684E-25	1614,6440
14	3107,7778	3,460E-22	5825,7791	1,164E-23	8440,9853	1,112E-25	1881,2826
15	3118,3103	8,970E-23	5827,3521	3,117E-24	8433,6408	3,036E-26	2167,6483
16	3128,0703	2,104E-23	5827,5662	7,558E-25	8424,3521	7,507E-27	2473,5691
17	3137,0488	4,473E-24	5826,4144	1,663E-25	8413,1138	1,683E-27	2798,8619
18	3145,2371	8,627E-25	5823,8899	3,322E-26	8399,9207	3,428E-28	3143,3321
19	3152,6267	1,512E-25	5819,9865	6,037E-27	8384,7681	6,348E-29	3506,7740
20	3159,2094	2,410E-26	5814,6980	9,991E-28	8367,6516	1,070E-29	3888,9710
21	3164,9772	3,500E-27	5808,0186	1,508E-28	8348,5672	1,646E-30	4289,6957
22	3169,9224	4,638E-28	5799,9429	2,079E-29	8327,5110	2,311E-31	4708,7102
23	3174,0375	5,614E-29	5790,4657	2,620E-30	8304,4795	2,966E-32	5145,7661
24	3177,3155	6,218E-30	5779,5820	3,025E-31	8279,4693	3,486E-33	5600,6049
25	3179,7494	6,310E-31	5767,2872	3,203E-32	8252,4773	3,756E-34	6072,9582
26	3181,3323	5,875E-32	5753,5767	3,115E-33	8223,5003	3,717E-35	6562,5477

Примечание. Интенсивности линий приведены для 100% концентрации H^{36}Cl в единицах $\text{cm}^{-1}/(\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2})$ при $T = 296 \text{ K}$.

На рисунке представлена диаграмма интенсивностей для полосы 1–0 изотопологов H^{35}Cl и H^{36}Cl . Значения интенсивностей линий для этих изотопологов

близки друг к другу. С другой стороны, как это было показано в работе [1], центры линий слегка сдвинуты (на единицы cm^{-1}).

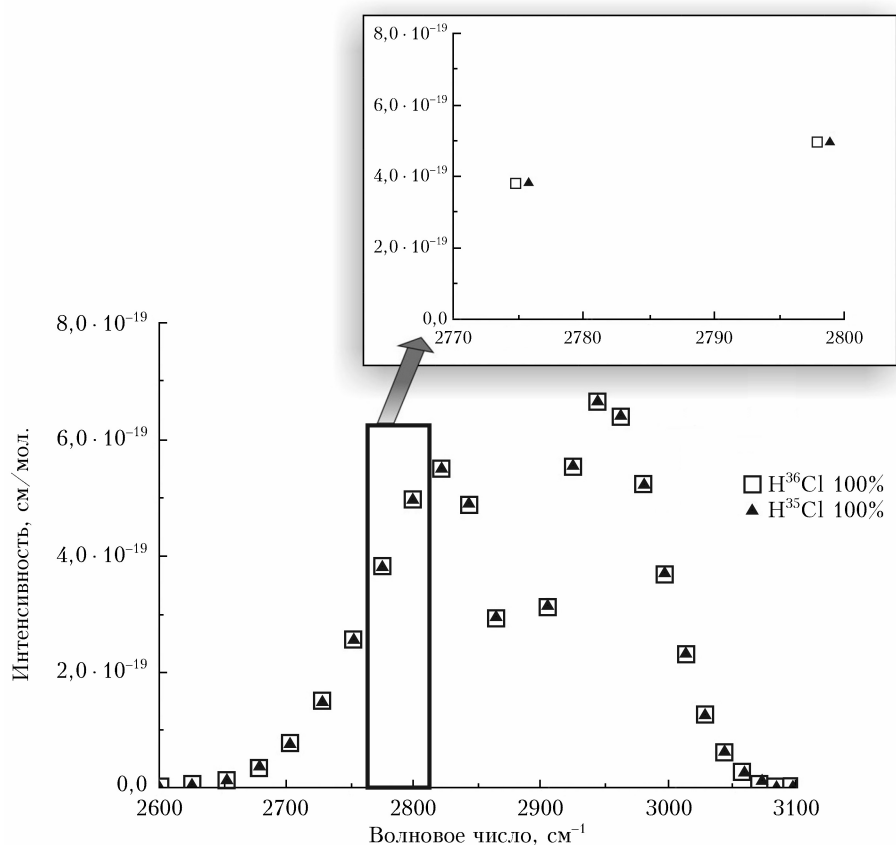


Диаграмма интенсивностей для полос 1–0 изотопологов H^{35}Cl и H^{36}Cl при $T = 296$ К; интенсивности даны для 100% концентраций изотопологов

Заключение

В настоящей работе представлены рассчитанные центры и интенсивности спектральных линий полос 1–0, 2–0 и 3–0 радиоактивного изотополога H^{36}Cl . Эти данные могут быть использованы для его детектирования в различных газовых средах спектроскопическими методами. Точность расчетов интенсивностей спектральных линий радиоактивного изотополога хлористого водорода H^{36}Cl зависит в основном от неопределенности экспериментальных значений интенсивностей линий изотополога H^{35}Cl , поскольку при получении изотопических соотношений (3)–(5) учитывались вклады в эффективный дипольный момент, на два порядка меньше, чем основной вклад, а волновые числа и энергии нижних состояний рассчитываются с помощью изотопически инвариантных параметров Данхэма с высокой точностью [2]. Основываясь на информации, представленной в базе данных HITRAN2020 [6], для интенсивностей линий изотополога H^{35}Cl мы оцениваем точность расчетов интенсивностей линий H^{36}Cl для полосы 1–0 в пределах 2–5% в зависимости от вращательного квантового числа J , для полосы 2–0 – в пределах 3–10%, а для полосы 3–0 – в пределах 6–20%.

Финансирование. Исследования, проведенные в Институте оптики атмосферы им В.Е. Зуева СО РАН, выполнены при финансовой поддержке Ми-

нистерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031500297-3).

Список литературы

1. Larnimaa S., Vainio M., Ulvila V. Infrared spectroscopy of radioactive hydrogen chloride H^{36}Cl // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2022. V. 277. P. 107984. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2021.107984.
2. Величко Т.И., Михайленко С.Н. Расчет частот колебательно-вращательных переходов молекулы H^{36}Cl // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35, № 7. С. 517–523. DOI: 10.15372/AOO20220701.
3. Величко Т.И., Михайленко С.Н. Анализ частот колебательно-вращательных переходов молекулы HCl и ее потенциалы RKR в основном электронном состоянии // Опт. спектроскоп. 2018. Т. 125, вып. 8. С. 156–164. DOI: 10.21883/OS.2018.08.46353.92-18.
4. Perevalov V.I., Karlovets E.V. Line intensities of the radioactive isotopologues of carbon monoxide // J. Mol. Spectrosc. 2019. V. 364. P. 111184. DOI: 10.1016/j.jms.2019.111184.
5. Huggle D., Blinov A., Stan-Sion C., Korschinek G., Scheffel C., Massonet S., Zerle L., Beer J., Parrat Y., Gaeggeler H., Hajdas W., Nolte E. Production of cosmogenic ^{36}Cl on atmospheric argon // Planet. Space Sci. 1996. V. 44. P. 147–151. DOI: 10.1016/0032-0633(95)00085-2.
6. Gordon I.E., Rothman L.S., Hargreaves R.J., Hasemi R., Karlovets E.V., Skinner F.M., Conway E.K.,

- Hill C., Kochanov R.V., Tan Y., Wcislo P., Finenko A.A., Nelson K., Bernath P.F., Birk M., Boudon V., Campargue A., Chance K.V., Coustenis A., Drouin B.J., Flaud J.M., Gamache R.R., Hodges J.T., Jacquemart D., Mlawer E.J., Nikitin A.V., Perevalov V.I., Rotger M., Tennyson J., Toon G.C., Tran H., Tyuterev V.G., Adkins E.M., Baker A., Barbe A., Perrin A., Shine K.P., Smith M.A.H., Tyuterev V.G., Barbe A., Cané E., Császár A.G., Egorov O., Fleisher A.J., Fleurbaey H., Foltynowicz A., Furtenbacher T., Harrison J.J., Hartmann J.M., Horneman V.-M., Huang X., Karman T., Karns J., Kleiner I., Kofman V., Kwabia-Tchana F., Lee T.J., Long D.A., Lukashchuk A.A., Lyulin O.M., Makhnev V.Yu., Matt W., Massie S.T., Melosso M., Mikhailenko S.N., Mondelain D., Müller H.S.P., Naumenko O.V., Perrin A., Polyansky O.L., Raddaoui E., Raston P.L., Reed Z.D., Rey M., Richard C., Tóbi R., Leças T.J., Sadiek I., Schwenke D.W., Starikova E., Sung K., Tamassia F., Tashkun S.A., Vander Auwera J., Vasilenko I.A., Viganin A.A., Villanueva G.L., Vispoel B., Wagner G., Yachmenev A., Yurchenko S.N. The HITRAN2020 molecular spectroscopic database // *J. Quantum. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2022. V. 277. P. 107949. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2021.107949.
7. Toth R.A., Hunt R.H., Plyler E.K. Line strengths, line widths, and dipole moment function for HCl // *J. Mol. Spectrosc.* 1970. V. 35. P. 110–126. DOI: 10.1016/0022-2852(70)90169-4.
 8. Pine A.S., Fried A., Elkins J.W. Spectral intensities in the fundamental bands of HF and HCl // *J. Mol. Spectrosc.* 1985. V. 109. P. 30–45. DOI: 10.1016/0022-2852(85)90049-9.
 9. Ogilvie J.F., Lee Y.-P. Line strengths in the 3–0 vibration-rotational band of gaseous $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ and the electric dipole moment function // *Chem. Phys. Lett.* 1989. V. 159. P. 239–243. DOI: 10.1016/0009-2614(89)87417-2.
 10. Gamache R.R., Kennedy S., Hawkins R., Rothman L.S. Total internal partition sums for molecules in the terrestrial atmosphere // *J. Mol. Struct.* 2000. V. 517–518. P. 413–431. DOI: 10.1016/S0022-2860(99)00266-5.
 11. Herzberg G. Molecular spectra and molecular structure II. Infrared and Raman spectra of polyatomic molecules. New Jersey: Van Nostrand Company, 1960. 650 p.

A.A. Marinina, T.I. Velichko, V.I. Perevalov. **Line intensities of the H^{36}Cl radioactive isotopologue of hydrogen chloride.**

The calculated line intensities of the 1–0, 2–0 and 3–0 absorption bands of the radioactive hydrogen chloride isotopologue H^{36}Cl are presented. The line positions were calculated using the Dunham coefficients obtained with the help of the isotopic independent spectroscopic constants. The line intensities of these bands were calculated using the effective dipole moment parameters obtained with the help of the isotopic substitution equations based on the effective dipole moment parameters of the H^{35}Cl isotopologue. The latter were fitted to the line intensities presented in the HITRAN2020 database.