База данных процессов с участием колебательно-возбужденного озона

В таблице 1 представлена созданная на основе анализа данных литературы и собственных результатов база данных процессов с участием колебательно-возбужденного озона. Константы скорости некоторых процессов представлены формулой Аррениуса

$$k(T) = A\left(\frac{T}{298\ K}\right)^n e^{-\frac{E_a}{RT}},$$

где A – коэффициент пропорциональности (частотный фактор),

T – температура,

E_a – энергия активации,

R = 8.314472 × 10^{-3} кДж/моль×К – универсальная газовая постоянная.

Размерности представленных значений констант скорости зависят от порядка реакции:

для реакций первого порядка (1/с),

второго порядка ($см^3$/с),

третьего порядка ($см^6$/с).

Для процессов (75) – (85) в столбце для констант скорости указан соответствующий коэффициент Эйнштейна A_e.

Таблица 1 – База данных процессов с участием колебательно-возбужденного озона

№	Реакция	T, K	Константа скорости k(T)	A	E_a, кДж/моль	n	Метод	Лит.
1	$O + O_2 + CH_4 \leftrightarrow O_3(\upsilon) + CH_4$	200 - 3000	2.32×10^{-27}			-2.4	эксп-т	[1]
2	$O + O_2 + N_2 \leftrightarrow O_3(\upsilon) + N_2$	200 - 5000	4.7×10^{-27}			-2.8	теория	[13]
3	$O + O_2 + O_2 \leftrightarrow O_3(\upsilon) + O_2$	200-5000	5.1×10^{-27}			-2.8	теория	[2]
4	$O + O_2 + O_2,N_2 \leftrightarrow O_3(000) + O_2,N_2$	500-2000	7.68×10^{-35}; T=500 K	2.79×10^{-35}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(001) + O_2,N_2$	500-2000	5.38×10^{-35}; T=500 K	2.32×10^{-35}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(002) + O_2,N_2$	500-2000	5.09×10^{-35}; T=500 K	1.85×10^{-35}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(003) + O_2,N_2$	500-2000	3.91×10^{-35}; T=500 K	1.42×10^{-35}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(004) + O_2,N_2$	500-2000	2.91×10^{-35}; T=500 K	1.06×10^{-35}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(005) + O_2,N_2$	500-2000	2.08×10^{-35}; T=500 K	7.59×10^{-36}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(006) + O_2,N_2$	500-2000	1.3×10^{-35}; T=500 K	4.73×10^{-36}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(007) + O_2,N_2$	500-2000	6.96×10^{-36}; T=500 K	2.53×10^{-36}	4240		эксп-т	[3]
	$\leftrightarrow O_3(008) + O_2,N_2$	500-2000	2.42×10^{-37}; T=500 K	8.80×10^{-37}	4240		эксп-т	[3]
5	$O_3(008) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
6	$O_3(007) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
7	$O_3(006) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
8	$O_3(005) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
9	$O_3(004) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
10	$O_3(003) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
11	$O_3(002) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
12	$O_3(001) + O \rightarrow O_2 + O_2$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
13	$O_3(000) + h\upsilon \rightarrow O_3(001)$	500-2000	6.4×10^{-3}				эксп-т	[3]
	$\rightarrow O_3(010)$	500-2000	6.7×10^{-3}				эксп-т	[3]
	$\rightarrow O_3(100)$	500-2000	1.2×10^{-4}				эксп-т	[3]
	$\rightarrow O_3(101)$	500-2000	4.2×10^{-5}				эксп-т	[3]

14	$O_3(000) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(001) + O_2,N_2$	500-2000	1×10^{-15}; T=500 K	2.0×10^{-14}	-12471		эксп-т	[3]
15	$O_3(008) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(007) + O_2,N_2$	500-2000	$(2.3\times10^{-14})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
16	$O_3(007) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(006) + O_2,N_2$	500-2000	$(2.0\times10^{-14})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
17	$O_3(006) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(005) + O_2,N_2$	500-2000	$(1.7\times10^{-14})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
18	$O_3(005) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(004) + O_2,N_2$	500-2000	$(1.4\times10^{-14})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
19	$O_3(004) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(003) + O_2,N_2$	500-2000	$(1.2\times10^{-14})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
20	$O_3(003) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(002) + O_2,N_2$	500-2000	$(8.7\times10^{-15})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
21	$O_3(002) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(001) + O_2,N_2$	500-2000	$(5.8\times10^{-15})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
22	$O_3(001) + O_2,N_2 \rightarrow O_3(000) + O_2,N_2$	500-2000	$(2.9\times10^{-15})T^{1/2}$				эксп-т	[3]
23	$O_3(000) + O \rightarrow O_3(001) + O$	500-2000	5×10^{-13}; T=500 K	1.0×10^{-11}	-12471		эксп-т	[3]
24	$O_3(000) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(010) + O_2,N_2,O$	500-2000	3.9×10^{-15}; T=500 K	3.0×10^{-14}	-8380		эксп-т	[3]
25	$O_3(001) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(100) + O_2,N_2,O$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
26	$O_3(100) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(001) + O_2,N_2,O$	500-2000	8.3×10^{-12}; T=500 K	1×10^{-11}	-731		эксп-т	[3]
27	$O_3(002) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(101) + O_2,N_2,O$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
28	$O_3(101) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(002) + O_2,N_2,O$	500-2000	1×10^{-11}				эксп-т	[3]
29	$O_3(001) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(010) + O_2,N_2,O$	500-2000	5×10^{-14}				эксп-т	[3]
30	$O_3(100) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(010) + O_2,N_2,O$	500-2000	5×10^{-14}				эксп-т	[3]
31	$O_3(010) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(000) + O_2,N_2,O$	500-2000	3×10^{-14}				эксп-т	[3]
32	$O_3(010) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(100) + O_2,N_2,O$	500-2000	1.58×10^{-14} ; T=500 K	5×10^{-14}	-4813		эксп-т	[3]
33	$O_3(010) + O_2,N_2,O \rightarrow O_3(001) + O_2,N_2,O$	500-2000	1.8×10^{-14}; T=500 K	5×10^{-14}	-4081		эксп-т	[3]
34	$O(^3P) + O_2(X^3\Sigma) + O_2(X^3\Sigma) \rightarrow O_3(\upsilon) + O_2(X^3\Sigma)$	298	$6.0\times10^{-34}(T/300)^{-2.6}$				эксп-т	[4]
35	$O(^3P) + O_2(X^3\Sigma) + Ar \rightarrow O_3(\upsilon) + Ar$	298	$0.63\times(6.0\times10^{-34}(T/300)^{-2.6})$				эксп-т	[5]
36	$O(^3P) + O_2(X^3\Sigma) + He \rightarrow O_3(\upsilon) + He$	298	$5.1\times10^{-27}T^{-2.8}$				эксп-т	[6]
37	$O(^3P) + O_2(X^3\Sigma) + N_2 \rightarrow O_3(\upsilon) + N_2$	298	$5.6\times10^{-34}(T/300)^{-2.6}$				эксп-т	[7]
38	$O(^3P) + O_2(X^3\Sigma) + CO_2 \rightarrow O_3(\upsilon) + CO_2$	298	1.5×10^{-33}				эксп-т	[8]
39	$O_3(100,001) + O_2(X^3\Sigma) \rightarrow O_3(010) + O_2(X^3\Sigma)$	298	$1.2\times10^{-13}T^{0.5}\exp(-26.8/T^{1/3})$				эксп-т	[9]
40	$O_3(100,001) + Ar \rightarrow O_3(010) + Ar$	298	5.9×10^{-15}				эксп-т	[10]
		298	5.6×10^{-15}				эксп-т	[11]
41	$O_3(010) + Ar \rightarrow O_3(000) + Ar$	298	1×10^{-14}				эксп-т	[10]
42	$O_3(\upsilon=1) + Ar \rightarrow O_3(000) + Ar$	298	7.4×10^{-15}				эксп-т	[11]
		298	7.3×10^{-15}				эксп-т	[12]

43	$O_3(\upsilon\geq2) + Ar \rightarrow O_3 + Ar$	298	1×10^{-14}				эксп-т	[10]
44	$O_3(100,001) + CO_2 \rightarrow O_3(010) + CO_2$	298	2×10^{-13}				эксп-т	[13]
45	$O_3(010) + CO_2 \rightarrow O_3(000) + CO_2$	298	1×10^{-13}				эксп-т	[13]
46	$O_3(\upsilon\geq2) + CO_2 \rightarrow O_3 + CO_2$	298	2×10^{-13}				эксп-т	[14]
47	$O_3(\upsilon=1) + CO_2 \rightarrow O_3\,(000) + CO_2$	298	1.6×10^{-13}				эксп-т	[12]
48	$O_3(000) + CO_2\,(\upsilon_3=1) \rightarrow O_3\,(100,001) + CO_2$	298	7.6×10^{-13}				эксп-т	[15]
49	$O_3(010) + He \rightarrow O_3(000) + He$	298	1×10^{-13}					[10]
50	$O_3(\upsilon\geq2) + He \rightarrow O_3 + He$	298	1×10^{-13}				эксп-т	[10]
51	$O_3(\upsilon=1) + He \rightarrow O_3\,(000) + He$	298	6×10^{-14}				эксп-т	[12]
52	$O_3(010) + N_2 \rightarrow O_3(000) + N_2$	298	$59\times10^{-13}T^{0.5}\exp(-53.8/T^{1/3})$				эксп-т	[10]
53	$O_3(\upsilon\geq2) + N_2 \rightarrow O_3 + N_2$	298	$0{,}5\times10^{-13}T^{0{,}5}\exp(-22{,}8/T^{1/3})$				эксп-т	[16]
54	$O_3(\upsilon) + N_2 \leftrightarrow O_3 + N_2$	200-500	4.7×10^{-18}			1.53	эксп-т	[9]
55	$O_3(\upsilon=1) + N_2 \rightarrow O_3\,(000) + N_2$	298	1.94×10^{-14}				эксп-т	[12]
56	$O_3(100,001) + O(^3P) \rightarrow O_3(000) + O(^3P)$	298	8×10^{-12}				эксп-т	[17]
57	$O_3(010) + O(^3P) \rightarrow O_3(000) + O(^3P)$	298	8×10^{-12}				эксп-т	[17]
58	$O_2(a^1\Delta) + O_3(000) \rightarrow 2O_2(X^3\Sigma) + O(^3P)$	298	1.56×10^{-13}; T=500 K	5.2×10^{-11}	-23611		эксп-т	[18]
59	$O_2(a^1\Delta) + O_3(010) \rightarrow 2O_2(X^3\Sigma) + O(^3P)$	298	$5.2\times10^{-11}\exp(-(2840-E^{1,0})/T)$				эксп-т	[18]
60	$O_3(\upsilon) + O_2(a^1\Delta)\leftrightarrow O_2 + O_2 + O$	200 - 5000	4.1×10^{-11}				эксп-т	[19]
61	$O_3(000) + O \rightarrow O_3(001) + O$	298	5×10^{-13}; T=500 K	1.0×10^{-11}	-12471		эксп-т	[3]
62	$O_3(\upsilon_3=1\div8) + O \rightarrow O_2 + O_2$	298	1.0×10^{-11}				эксп-т	[3]
63	$O_3(\upsilon) + O \leftrightarrow O_3 + O$	200 - 5000	3×10^{-12}				эксп-т	[19]
64	$O_3(010) + O \rightarrow O_3\,(000) + O$	298	3×10^{-12}				эксп-т	[20]
65	$O_3(100,001) + O \rightarrow O_3\,(010) + O(100,001)$	298	9×10^{-12}				эксп-т	[20]
66	$O_3(\upsilon) + O \leftrightarrow O_2 + O_2$	200-5000	1.2×10^{-21}				эксп-т	[19]
67	$O_3(\upsilon\geq2) + O_2\rightarrow O_3 + O_2$	298	$0{,}5\times10^{-13}T^{0{,}5}\exp(-22{,}8/T^{1/3})$				эксп-т	[16]
68	$O_3(\upsilon=1) + O_2 \rightarrow O_3 + O_2$	298	3×10^{-15}				эксп-т	[21]
69	$O_3(\upsilon) + O_2 \leftrightarrow O_3 + O_2$	200-5000	4.8×10^{-18}			1.53	эксп-т	[9]
70	$O_2(a) + O_3(\upsilon\geq2)\rightarrow 2O_2(X) + O(_3P)$	298	$(4{,}1\times1{,}1)\times10^{-11}$				эксп-т	[22]
71	$O_2(a) + O_3(\upsilon=1) \rightarrow O + O_2 + O_2$	298	2.08×10^{-11}; T=500 K	26×10^{-11}	-10700		эксп-т	[23]
72	$O_3(\upsilon) + CO \rightarrow O_3 + CO$	298	$(1{,}5\pm0{,}2)\times10^{-13}$				эксп-т	[24]

73	$O_3(\upsilon\geq2) + O(^3P) \rightarrow 2O_2(X)$	298	1.22×10^{-11}				эксп-т	[25]
74	$O_3(\upsilon\geq2) + O(^3P)\rightarrow O_3 + O({}_3P)$	298	2.9×10^{-12}				эксп-т	[25]
75	$O_3(008) \rightarrow O_3\,(007) + h\upsilon$	298	A_e= 52.1				эксп-т	[3]
76	$O_3(007) \rightarrow O_3\,(006) + h\upsilon$	298	A_e= 49.6				эксп-т	[3]
77	$O_3(006) \rightarrow O_3\,(005) + h\upsilon$	298	A_e= 45.9				эксп-т	[3]
78	$O_3(005) \rightarrow O_3\,(004) + h\upsilon$	298	A_e= 41.4				эксп-т	[3]
79	$O_3(004) \rightarrow O_3\,(003) + h\upsilon$	298	A_e= 35.8				эксп-т	[3]
80	$O_3(003) \rightarrow O_3\,(002) + h\upsilon$	298	A_e= 28.9				эксп-т	[3]
81	$O_3(002) \rightarrow O_3\,(001) + h\upsilon$	298	A_e= 20.7				эксп-т	[3]
82	$O_3(001) \rightarrow O_3\,(000) + h\upsilon$	298	A_e= 11.2				эксп-т	[3]
83	$O_3(101) \rightarrow O_3\,(000) + h\upsilon$	298	A_e= 4.1				эксп-т	[3]
84	$O_3(100) \rightarrow O_3\,(000) + h\upsilon$	298	A_e= 0.5				эксп-т	[3]
85	$O_3(010) \rightarrow O_3\,(000) + h\upsilon$	298	A_e= 0.25				эксп-т	[3]
86	$O_3(100,001) + O_3 \rightarrow O_3\,(\upsilon=2) + O_3$	298	1.7×10^{-13}				эксп-т	[11]
87	$O_3(010) + O_3 \rightarrow O_3\,(000) + O_3$	298	8.8×10^{-14}				эксп-т	[11]
88	$O_3(100,001) + O_2 \rightarrow O_3\,(010) + O_2$	298	5.2×10^{-14}				эксп-т	[26]
89	$O_3(010) + O_2 \rightarrow O_3\,(000) + O_2$	298	3×10^{-14}				эксп-т	[26]
		298	2.27×10^{-14}				эксп-т	[27]
		298	2.0×10^{-14}				эксп-т	[20]
90	$O_3(100,001) + O_2 \rightarrow O_3\,(010) + O_2$	298	9.4×10^{-15}				эксп-т	[27]
		298	3.7×10^{-14}				эксп-т	[20]
91	$O_3(\upsilon=1) + O_2 \rightarrow O_3\,(000) + O_2$	298	1.3×10^{-14}				эксп-т	[12]
92	$O_3(\upsilon=1) + H_2 \rightarrow O_3\,(000) + H_2$	298	1.18×10^{-12}				эксп-т	[12]
93	$O_3(\upsilon=1) + D_2 \rightarrow O_3\,(000) + D_2$	298	1.3×10^{-13}				эксп-т	[28]
94	$O_3(\upsilon=1) + CH_4 \rightarrow O_3\,(000) + CH_4$	298	4.8×10^{-13}				эксп-т	[12]
95	$O_3(\upsilon=1) + SO_2 \rightarrow O_3\,(000) + SO_2$	298	2.35×10^{-13}				эксп-т	[12]
96	$O_3(\upsilon=1) + SF_6 \rightarrow O_3\,(000) + SF_6$	298	1.6×10^{-12}				эксп-т	[12]
97	$O_3\,(\upsilon=1) + SiF_4\rightarrow O_3\,(000) + SiF_4$	298	3.8×10^{-11}				эксп-т	[15]
98	$O_3\,(\upsilon=1) + H_2O \rightarrow O_3\,(000) + H_2O$	298	3.5×10^{-12}				эксп-т	[12]
99	$O_3(100,001) + NO \rightarrow O_3\,(010) + NO$	350	4.8×10^{-13}				эксп-т	[29]

Список использованных источников

1. Mulcahy M.F.R., Williams D.J. Kinetics of combination of oxygen atoms with oxygen molecules // Transactions of the Faraday Society – 1968. – Vol. 64. P. 59-70.
2. Atkinson R., Baulch D.L., Cox R.A., Hampson Jr R.F., Kerr J.A., Rossi M.J., Troe J. Evaluated kinetic, photochemical and heterogeneous data for atmospheric chemistry: Supplement V. IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation for Atmospheric Chemistry // Journal of Physical and Chemical Reference Data –1997. –Vol. 26, No. 3. P. 521-1011.
3. Rawlins W.T. Chemistry of vibrationally excited ozone in the upper atmosphere // Journal of Geophysical Research: Space Physics – 1985. – Vol. 90, No. A12. P. 12283-12292.
4. Rawlins W.T., Caledonia G.E., Armstrong R.A. Dynamics of vibrationally excited ozone formed by three-body recombination. II. Kinetics and mechanism // The Journal of chemical physics – 1987. – Vol. 87, No. 9. P. 5209-5221.
5. Braginskiy O. V., Vasilieva A. N., Klopovskiy K. S., Kovalev A. S., Lopaev D. V., Proshina O. V., Rakhimov A. T. Singlet oxygen generation in O_2 flow excited by RF discharge: I. Homogeneous discharge mode: α-mode // Journal of Physics D: Applied Physics – 2005. – Vol. 38, No. 19. P. 3605-3620.
6. Palla A. D., Carroll D. L., Verdeyen J. T., Solomon W. C. Mixing effects in postdischarge modeling of electric discharge oxygen-iodine laser experiments // Journal of applied physics – 2006. – Vol. 100, No. 2. P. 023117.
7. Atkinson R., Baulch D. L., Cox R. A., Crowley J. N., Hampson R. F., Hynes R. G., Troe J. Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry: Volume II–gas phase reactions of organic species // Atmospheric Chemistry and Physics – 2006. – Vol. 6. No. 11. P. 3625-4055.
8. Kaufman F., Kelso J. R. M effect in the gas-phase recombination of O with O_2 // The Journal of Chemical Physics – 1967. – Vol. 46, No. 11. P. 4541-4543.
9. Menard J., Doyennette L., Ménard-Bourcin F. Vibrational relaxation of ozone in O_3–O_2 and O_3–N_2 gas mixtures from infrared double-resonance measurements in the 200–300 K temperature range // The Journal of chemical physics – 1992. – Vol. 96, No. 8. P. 5773-5780.
10. Zeninari V., Tikhomirov B. A., Ponomarev Y. N., Courtois D. Photoacoustic measurements of the vibrational relaxation of the selectively excited ozone (ν3) molecule in pure ozone and its binary mixtures with O_2, N_2, and noble gases // The Journal of Chemical Physics – 2000. – Vol. 112, No. 4. P. 1835.
11. Hui K.K., Rosen D.I., Cool T.A. Intermode energy transfer in vibrationally excited O_3 // Chemical Physics Letters – 1975. – Vol. 32, No. 1. P. 141-143.
12. Kurylo M.J., Braun W., Kaldor A., Freund S.M., Wayne R.P. Infra-red laser enhanced reactions: chemistry of vibrationally excited O_3 with NO and O_2 ($^1\Delta$) // Journal of Photochemistry – 1974. – Vol. 3, No. 1. P. 71-87.

13. McDade I. C., McGrath W. D.Ir-laser-induced changes in the uv absorption spectrum of ozone. A new technique for vibrational energy-transfer studies // Chemical Physics Letters – 1980. – Vol. 72, No. 3. P. 432-436.
14. Rosen D.I. Vibrational deactivation of O_3(101) molecules in gas mixtures // The Journal of Chemical Physics – 1973. – Vol. 59, No. 11. P. 6097– 6103.
15. Braun W., Kurylo M.J., Kaldor A., Wayne R.P. Infrared laser enhanced reactions: Spectral distribution of the NO_2 chemiluminescence produced in the reaction of vibrationally excited O_3 with NO // The Journal of Chemical Physics – 1974. – Vol. 61, No. 2. P. 461-464.
16. Ménard J. Vibrational relaxation of ozone in O_3–O_2 and O_3–N_2 gas mixtures from infrared double resonance measurements in the 200–300 K temperature range // The Journal of Chemical Physics, 1992. pp. 5773–5780.
17. Steinfeld J. I., Adler-Golden S. M., Gallagher J. W. Critical survey of data on the spectroscopy and kinetics of ozone in the mesosphere and thermosphere // Journal of physical and chemical reference data – 1987. – Vol. 16, No. 4. P. 911-951.
18. Azyazov V. N., Mikheyev P. A., Heaven M. C. On the O_2 (a1Δ) quenching by vibrationally excited ozone // In XVIII International Symposium on Gas Flow, Chemical Lasers, and High-Power Lasers. International Society for Optics and Photonics. 2010. Vol. 7751. P. 77510E.
19. Azyazov V.N., Heaven M.C. Kinetics of active oxygen species with implications for atmospheric ozone chemistry // International Journal of Chemical Kinetics – 2015. – Vol. 47, No. 2. P. 93-103.
20. West G.A., Weston Jr R.E., Flynn G.W. Deactivation of vibrationally excited ozone by $O(^3P)$ atoms // Chemical Physics Letters – 1976. – Vol. 42, No. 3. P. 488-493.
21. Lopaev D.V., Malykhin E.M., Zyryanov S.M. Surface recombination of oxygen atoms in O_2 plasma at increased pressure: II. Vibrational temperature and surface production of ozone // Journal of Physics D: Applied Physics – 2010. – Vol. 44, No. 1. P. 15202.
22. Azyazov V.N., Heaven M.C. Kinetics of active oxygen species with implications for atmospheric ozone chemistry // International Journal of Chemical Kinetics – 2015. – Vol. 47, No. 2. P. 93-103.
23. Marinov D., Guerra V., Guaitella O., Booth J.P., Rousseau A. Ozone kinetics in low-pressure discharges: vibrationally excited ozone and molecule formation on surfaces // Plasma Sources Science and Technology – 2013. – Vol. 22, No. 5. P. 55018.
24. Azyazov V. N., Mikheyev P. A., Postell D., Heaven, M. C. O_2 $^1\Delta$ quenching in $O/O_2/O_3/CO_2$/He/Ar mixtures // In High Energy/Average Power Lasers and Intense Beam Applications IV. International Society for Optics and Photonics – 2010. – Vol. 7581. P. 758108.
25. West G. A., Weston Jr R. E., Flynn G. W. The influence of reactant vibrational excitation on the $O(^3P) + O_3$ bimolecular reaction rate // Chemical Physics. Letters – 1978. – Vol. 56, No. 3. P. 429–433.
26. Adler-Golden S.M., Steinfeld J.I. Vibrational energy transfer in ozone by infrared-ultraviolet double resonance // Chemical Physics Letters – 1980. – Vol. 76, No. 3. P. 479-484.
27. Joens J.A., Burkholder J.B., Bair E.J. Vibrational relaxation in ozone recombination // The Journal of Chemical Physics – 1982. – Vol. 76, No. 12. P. 5902-5916.

28. Moy J., Mao C.R., Gordon R.J. The vibrational relaxation of O_3 by He, D_2 and H_2 // The Journal of Chemical Physics – 1980. – Vol. 72, No. 7. P. 4216-4222.
29. Gordon R.J., Lin M.C. The reaction of nitric oxide with vibrationally excited ozone // Chemical Physics Letters – 1973. – Vol. 22, No. 2. P. 262-268.