

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ШАРОВОЙ МОЛНИИ К ОБРАЗОВАНИЮ ОЗОНА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г. А. Шевченко

*Лаборатория физико-химических исследований при федеральном бюджетном учреждении
здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии по республике Алтай»*

Поступила в редакцию 30.03.2017 г.

Аннотация. В статье оценивается возможность образования озона шаровой молнией. В качестве кинетической модели образования и распада озона взят цикл Чемпена, в качестве модели шаровой молнии взята модель неоднородного модифицированного поляризованного физического вакуума, разработанная Дятловым В.Л. Согласно проведенным расчетам, показана возможность генерации высоких концентраций озона за короткий промежуток времени, превышающих ПДК.

Ключевые слова: шаровая молния, озон, численные методы

Abstract. The paper is evaluated the possibility of the formation of ozone by ball lightning. As a kinetic model of the formation and decomposition of ozone taken Chapman cycle, as a model of ball lightning is taken inhomogeneous model modified polarized physical vacuum, developed by Dyatlov V.L. According to the calculations, it is shown the possibility of generating high concentrations of ozone in a short period of time in excess of the maximum allowable concentration

Keywords: ball lightning, ozone, numerical methods

Для качественного и количественного описания свойств шаровой молнии и ряда других природных явлений (торнадо, эльфы, джеты и др.) в середине 1990-ых годов новосибирским ученым, д.т.н., Дятловым В.Л. была разработана модель неоднородного поляризованного модифицированного физического вакуума. Идеи его модели получили продолжение в работе [1], в которой выше перечисленные природные явления объединяются общим термином «природные самосветящиеся объекты», или сокращенно ПСО. Модель Дятлова с единых позиций объясняет способность ПСО к излучению в широком спектре электромагнитных волн, возникновение в них электрических разрядов, изменение магнитного и гравитационного полей Земли вблизи ПСО, вращение воздуха внутри ПСО, захват ПСО пыли, прохождение ПСО сквозь газы, жидкость и твердые тела, непред-

сказуемое движение (в том числе и против ветра), необъяснимо большое изменение ускорения движения [2].

На основе предложенной модели Дятлов доказывает способность ПСО к излучению собственного электромагнитного излучения, которое может вызывать ионизацию и диссоциацию молекул газов в атмосфере [1]. В [2, 3] на основе модели Дятлова проводится оценка способности шаровой молнии к ионизации молекул воздуха за счет ультрафиолетового излучения и электрического разряда и накоплению образующихся ионов.

Представляет интерес на основе модели Дятлова оценить способность ПСО к генерации молекул озона. В 1965 г. Дмитриеву М.Т., специалисту в области химии атмосферы, удалось взять пробу газов в следе от прохождения шаровой молнии сразу же после ее появления (Дмитриев М.Т. взял оборудование для отбора проб воздуха и рядом с

ним случайно пролетела шаровая молния). В пробах оказалось повышенное содержание озона и двуокиси азота, концентрации которых соответственно составили 1.3 и 1.6 г/м³ [4].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Работа представляет собой моделирование с использованием численных методов решения дифференциальных уравнений. В качестве модели шаровой молнии взята модель неоднородного модифицированного поляризованного физического вакуума, разработанная Дятловым В.Л. Для описания процесса образования и разложения озона используется цикл Чепмена. Полученная система дифференциальных уравнений решалась в пакете MATLAB с использованием функции ode45 (метод Рунге-Кутты).

Модель неоднородного модифицированного физического поляризованного вакуума В.Л. Дятлова.

В модели В.Л. Дятлова [1] физический вакуум описывается как поляризационная среда. При этом электромагнитное поле описывается уравнениями Максвелла:

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\delta \mathbf{B} / \delta t \quad (2)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \delta \mathbf{D} / \delta t \quad (4)$$

где $\mathbf{D}$, $\mathbf{E}$, ρ , $\mathbf{j}$ – электрические смещение, напряженность поля, объемная плотность зарядов и плотность тока, $\mathbf{B}$, $\mathbf{H}$ – магнитные индукция и напряженность поля, а гравитационное поле – уравнениями Хевисайда:

$$\operatorname{div} \mathbf{D}_G = -\rho_G \quad (5)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E}_G = -\delta \mathbf{B}_S / \delta t \quad (6)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B}_S = 0 \quad (7)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H}_S = -\mathbf{j}_G + \delta \mathbf{D}_G / \delta t \quad (8)$$

где $\mathbf{D}_G$, $\mathbf{E}_G$, ρ_G , $\mathbf{j}_G$ – гравитационные смещение, напряженность поля, объемная плотность зарядов и плотность тока, $\mathbf{B}_S$, $\mathbf{H}_S$ – спиновые индукция и напряженность поля. При этом вводится спиновое поле, которое является аналогом магнитного поля в гравитации. Как видно из уравнений (7) и (8), оно возникает в результате движения масс (гравитационных зарядов) и изменения гравитационного поля с течением времени (гравитационный ток смещения) и имеет вихревой характер. Знак “минус” перед гравитационным током в уравнении (8) вызван тем, что в гравитации одноименные заряды притягиваются, а в электростатике – отталкиваются [2].

Ключевой особенностью модели является представление о неоднородности свойств пространства – в ней вводится понятие вакуумного

домена – области пространства, в которой локально осуществляется связь электрических и гравитационных поляризаций, а также связь спиновых и магнитных поляризаций (характеристики этих связей ϵ_1 , μ_1 не равны нулю внутри домена и принимают нулевые значения вне него) [2]. Вещественные уравнения тогда записываются в форме

$$\mathbf{D} = \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E} + \epsilon_1 \mathbf{E}_G \quad (9)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H} + \mu_1 \mathbf{H}_S \quad (10)$$

$$\mathbf{D}_G = \epsilon_{0G} \mathbf{E}_G + \epsilon_1 \mathbf{E} \quad (11)$$

$$\mathbf{B}_S = \mu_{0S} \mathbf{H}_S + \mu_1 \mathbf{H} \quad (12)$$

где ϵ_0 , ϵ_{0G} – электрическая и гравитационная постоянные вакуума, ϵ – диэлектрическая проницаемость вещества, μ_0 , μ_{0S} – магнитная и спиновая постоянные вакуума, μ – магнитная восприимчивость вещества.

Модель позволяет на качественном уровне объяснить многие свойства шаровой молнии, природных самосветящихся образований и торнадо: самосвечение, наличие электрического, магнитного и гравитационного полей, возникновение сильных вихрей. Согласно анализу, проведенному В.Л. Дятловым, вакуумный домен в полях Земли должен приобретать четыре поляризации: электрическую $\mathbf{P}_{E0}$, магнитную $\mathbf{M}_{M0}$, гравитационную $\mathbf{P}_{G0}$ и спиновую $\mathbf{M}_{S0}$:

$$\mathbf{P}_{E0} = k_{1\epsilon} \epsilon_{0G} \mathbf{E}_{0G} / \eta_0 - k_{2\epsilon} \epsilon_0 \mathbf{E}_0, \quad (13)$$

$$\mathbf{P}_{G0} = k_{1\epsilon} \eta_0 \epsilon_0 \mathbf{E}_0 - k_{2\epsilon} \epsilon_{0G} \mathbf{E}_{0G}, \quad (14)$$

$$\mathbf{M}_{M0} = k_{1\mu} \mathbf{H}_{0S} / \eta_0 - k_{2\mu} \mathbf{H}_0, \quad (15)$$

$$\mathbf{M}_{S0} = k_{1\mu} \eta_0 \mathbf{H}_0 - k_{2\mu} \mathbf{H}_{0S}, \quad (16)$$

где $\mathbf{E}_0$, $\mathbf{E}_{0G}$, $\mathbf{H}_0$, $\mathbf{H}_{0S}$ – напряженности электрического, гравитационного, магнитного и спинового полей Земли соответственно, $\eta_0 = (\epsilon_{0G} / \epsilon_0)^{1/2} = (\mu_0 / \mu_{0S})^{1/2} = 1.161 \cdot 10^{10}$ кг/Кл, а $k_{1\mu} = a_\mu / (1 - a_\mu^2)$; $k_{2\mu} = a_\mu^2 / (1 - a_\mu^2)$ и $k_{1\epsilon} = a_\epsilon / (1 - a_\epsilon^2)$; $k_{2\epsilon} = a_\epsilon^2 / (1 - a_\epsilon^2)$ – безразмерные величины, связанные с коэффициентами магнито-спиновой $a_\mu = \mu_1 / (\mu_0 \mu_{0S})^{1/2}$ и электрогравитационной связи $a_\epsilon = \epsilon_1 / (\epsilon_0 \epsilon_{0G})^{1/2}$ соответственно (степенью модификации физического вакуума). При малых a_μ и a_ϵ можно считать $k_{1\mu} \approx a_\mu$, $k_{2\mu} \approx a_\mu^2$ и $k_{1\epsilon} \approx a_\epsilon$, $k_{2\epsilon} \approx a_\epsilon^2$. С наличием этих поляризаций связано изменение магнитного, электрического и гравитационного полей вблизи вакуумного домена [1, 2].

Кинетическая модель процесса образования и разрушения озона

Согласно модели Дятлова, шаровая молния способна к излучению электромагнитного излучения, способного вызвать диссоциацию молекул кислорода на атомы, тем самым запуская цикл Чепмена (таблица 1).

Произведем оценку химической составляющей образования озона. Вклад фотолитическо-

Таблица 1.

Цикл Чепмена

№ р-ии	Реакция	Уравнение скорости реакции
1	$O_2 + h\nu \rightarrow O + O$	$V_0 = \frac{\eta \cdot I}{h \cdot \nu \cdot I_{\text{полг}}}$
2	$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M + 107 \text{ кДж/моль}$	$V_1 = k_1 \cdot C(O) \cdot C(O_2) \cdot C(M)$, где M – любая частица, $k_1 = 6,0 \cdot 10^{-46} \text{ м}^6/\text{с}$ [5]
3	$O + O_3 \rightarrow O_2 + O_2 + 391 \text{ кДж/моль}$	$V_2 = k_2 \cdot C(O) \cdot C(O_3)$, $k_2 = 8,0 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3/\text{с}$ [5]
4	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$	$V_3 = k_3 \cdot C(O_3)$

где η – квантовый выход (примем его равным 0.01); $I = 2 \cdot \pi^2 I_0 \left(\frac{\rho_{\text{полг}}}{\Delta x} \right)^2$ – интенсивность поглощаемого излучения; $I_0 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}$; $\Delta x = \lambda / [a_e + a_\mu]$ – расстояние, на котором в ВД происходит полное преобразование грависпиновых волн в электромагнитные, м; λ – длина поглощаемой волны, м; $[a_e + a_\mu]$ – степень модификации физического вакуума; $I_{\text{полг}} = I / (N \cdot \sigma_{\text{полг}})$ – глубина поглощаемого излучения, м; $\sigma_{\text{полг}}$ – сечение поглощения, см^2 (рис. 1).

го разложения озона и тепловой конвекции для упрощения модели учитывать не будем.

Для оценки скорости разложения молекулярного кислорода на атомы взяты сечения поглощения для диапазона длин волн 0.1-105 нм (рис. 1) [6].

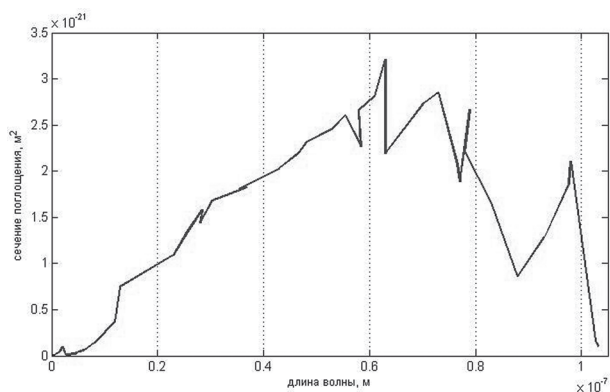


Рис. 1. Зависимость сечения поглощения от длины поглощаемого излучения для молекулярного кислорода [6]

Для каждой длины волны рассчитана скорость разложения кислорода, конечная скорость получена путем суммирования всех полученных скоростей. Зависимость скорости разложения кислорода от степени модификации представлена на рис. 2.

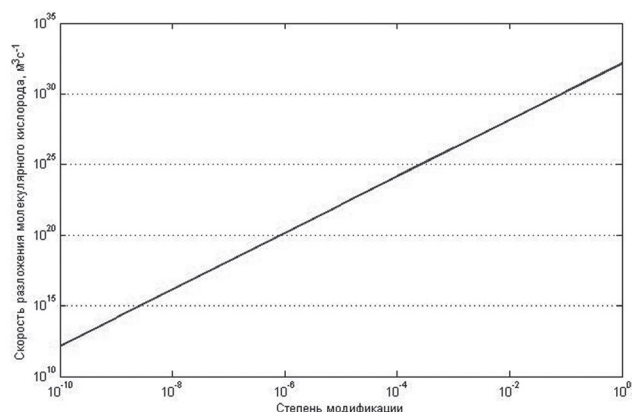


Рис. 2. Зависимость скорости диссоциации молекулярного кислорода от степени модификации вакуумного домена

Образующийся атомарный кислород вступает в реакцию образования озона (№ 2, табл.1) и реакцию его разложения (№ 3, табл.1) – уравнение скорости изменения его концентрации выглядит следующим образом:

$$\frac{dC(O)}{dt} = V_0 - k_1 \cdot C(M) \cdot C(O_2) \cdot C(O) - k_2 \cdot C(O) \cdot C(O_3) \quad (1)$$

Озон образуется во второй реакции и разлагается в третьей, изменение его концентрации во времени имеет следующий вид:

$$\frac{dC(O_3)}{dt} = k_1 \cdot C(M) \cdot C(O_2) \cdot C(O) - k_2 \cdot C(O) \cdot C(O_3) \quad (2)$$

Так как все частицы взаимодействуют друг с другом, уравнения (1) и (2) объединим в систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dC(O)}{dt} &= V_0 - k_1 \cdot C(M) \cdot C(O_2) \cdot C(O) - k_2 \cdot C(O) \cdot C(O_3) \\ \frac{dC(O_3)}{dt} &= k_1 \cdot C(M) \cdot C(O_2) \cdot C(O) - k_2 \cdot C(O) \cdot C(O_3) \end{aligned} \quad (4)$$

Полученная система дифференциальных уравнений решалась методом Рунге-Кутты в программе MATLAB для различных степеней модификации неоднородного поляризованного физического вакуума. Шаг интегрирования подбирался опытным путем исходя из вычислительных возможностей ПК.

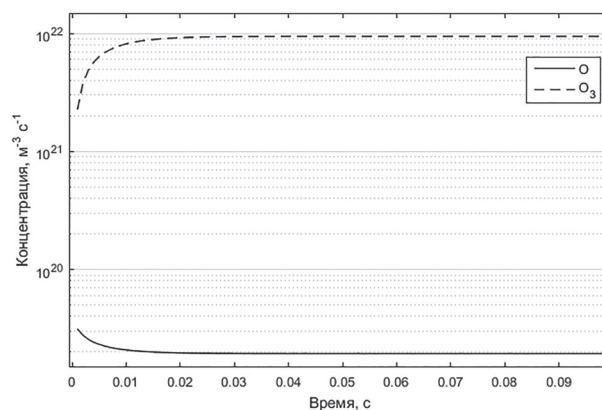


Рис. 3. Зависимость скорости образования озона от времени при степени модификации физического вакуума 10^{-4} (шаг интегрирования 0.001)

При степени модификации 10^{-5} стационарное состояние достигается примерно за время порядка 2 с (рис. 4).

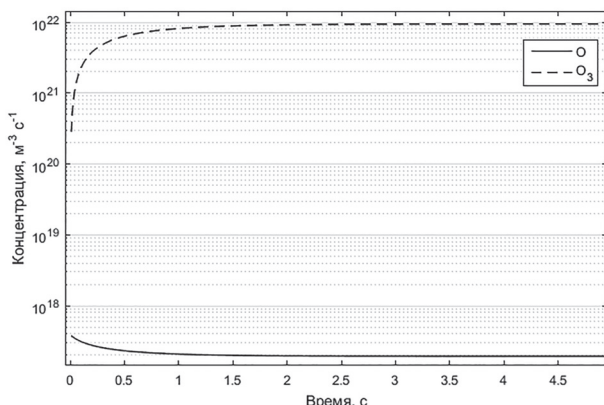


Рис. 4. Зависимость скорости образования атомарного кислорода и озона от времени при степени модификации физического вакуума 10^{-5} (шаг интегрирования 0.01)

При степени модификации 10^{-6} стационарное состояние достигается за время порядка 350 с (рис. 5).

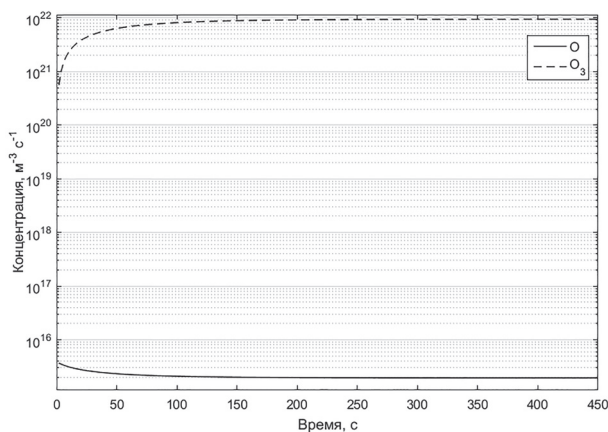


Рис. 5. Зависимость скорости образования атомарного кислорода и озона от времени при степени модификации физического вакуума 10^{-6} (шаг интегрирования 2)

При степени модификации 10^{-7} стационарное состояние достигается за время порядка 30 минут (рис. 6).

При степени модификации менее 10^{-7} время достижения равновесия по озону значительно увеличивается и в реальных условиях вряд ли достигается. Оценим равновесную концентрацию озона. Для упрощения расчетов будем считать, что стоком озона является только реакция № 3 (табл. 1). Тогда условие равновесия можно записать в виде:

$$V_1 = V_2, \text{ или } k_1 \cdot C(O) \cdot C(O_2) \cdot (M) = k_2 \cdot C(O) \cdot C(O_3)$$

откуда

$$C(O_3) = k_1 \cdot C(O) \cdot (M) / k_2 = 3.5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3} = 2.8 \text{ мг/м}^3$$

Полученная равновесная концентрация на порядок ниже значений, полученных экспериментально Дмитриевым М.Т. Это можно объяснить диффузионными осложнениями — скорость смешения образовавшегося озона с воздухом ниже скорости образования озона под воздействием излучения и электрических разрядов шаровой молнии.

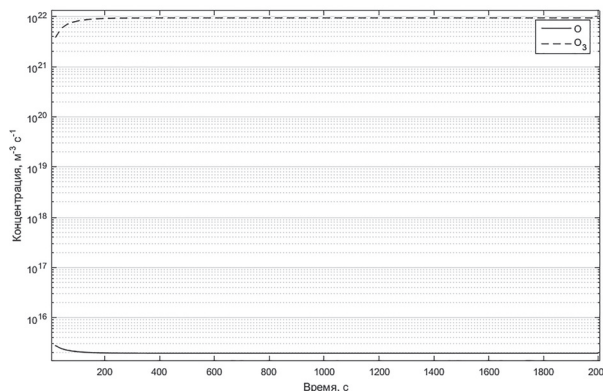


Рис. 6. Зависимость скорости образования атомарного кислорода и озона от времени при степени модификации физического вакуума 10^{-7} (шаг интегрирования 2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная на основе простейшей кинетической модели равновесная концентрация озона на порядок ниже экспериментального значения, полученного Дмитриевым М.Т., что объясняется диффузионными осложнениями. Скорость достижения стационарного состояния при степени модификации вакуума выше 10^{-4} составляет менее 2 с. Согласно оценкам в [2], степень модификации вакуума для шаровой молнии составляет от 10^{-5} до 0.18. При степени модификации вакуума ниже 10^{-7} время достижения равновесной концентрации озона составляет более 30 минут и в реальных условиях представляется маловероятным (вследствие экзотермичности реакции образования озона и возникновения конвекции).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дятлов В.Л. Поляризационная модель неоднородного физического вакуума / В.Л. Дятлов. — Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1998. — 184 с.
2. Дмитриев А.Н. Необычные явления в природе и неоднородный физический вакуум / А.Н. Дмитриев, В.Л. Дятлов, А.Ю. Гвоздарев. — Новосибирск, Горно-Алтайск, Бийск: Изд-во БГПУ им.Шукина, 2005. — 550 с.

3. Шевченко Г.А. Механизмы образования атмосферных ионов в вакуумном домене / Г.А. Шевченко, А.Ю. Гвоздарев // Вестник молодых ученых: Сборник научных работ. — 2005. — № 1. — С. 137 – 141.

4. Смирнов Б.М. Наблюдательные свойства шаровой молнии / Б.М. Смирнов. — Москва: Изд-во Ин-та высоких температур РАН, 1992. — 81 с.

5. Атмосфера: Справочник. (Справочные данные, модели) / Ю.С. Седунов [и др.]. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 508 с.

6. Авакян С.А. Сечения процессов ионизации и возбуждения УФ излучения при столкновении электронов, ионов и фотонов с атомами и молекулами атмосферных газов. Справочник / С.А. Авакян, Р.Н. Ильин, В.М. Лавров, Г.Н. Огурцов. — С.-Пб.: ГОИ, 2000. — 365 с.

Центр гигиены и эпидемиологии по Республике Алтай

Шевченко Г. А., к.г.-м.н., химик-эксперт

Тел: +7 913 994-61-93

E-mail: shevchenko_gena@mail.ru

Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Altai

Shevchenko G. A., PhD., chemist-expert

Ph: +7 913 994-61-93

E-mail: shevchenko_gena@mail.ru