

01;04

Моделирование разрядов молнии фрактальной геометрией

© В.К. Балханов, Ю.Б. Башкуев

Институт физического материаловедения СО РАН,
670047 Улан-Удэ, Россия
email: ballar@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 21 февраля 2012 г.)

Предложено аппроксимировать широкополосный разряд молнии затухающим периодическим колебанием. Этим самым введены основная частота колебания и время релаксации. Такое рассмотрение позволило установить, что излучение разрядов молнии формируется на длине нескольких десятков километров, что существенно отличается от видимой длины разряда молнии в несколько километров. Наблюдаемое различие в длинах предложено объяснить с помощью методов фрактальной геометрии. Именно с точки зрения фрактальной геометрии разряды молнии настолько извилисты, что на небольшой длине укладывается извилистая линия с большой длиной. Поставлена задача определения фрактальной размерности извилистой и прерывистой линий разрядов молнии.

В работе [1] была установлена пространственная характеристика излучения разрядов молнии. В настоящей работе авторы рассмотрят другой аспект данной проблемы. Дело в том, что изучение разрядов молнии является широкополосным. Измеренные в [1] разряды молнии состоят из 3–4 импульсов (рис. 1). Авторы предлагают в первом приближении кривую на рис. 1 аппроксимировать затухающим периодическим колебанием, описываемым функцией (рис. 2),

$$E(t) = \exp(-t/\tau) \sin(\omega_0 t). \quad (1)$$

Этим самым вводятся основная частота ω_0 и время релаксации τ . Сравнение рис. 1 и 2 позволяет установить, что время релаксации

$$\tau \sim 200 \mu s,$$

и основная частота излучаемой волны

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \sim 4.8 \text{ kHz}.$$

Таким образом,

$$E(t) = \exp(-t/200) \sin(0.03t). \quad (2)$$

Отсюда следует, что рассматриваемое излучение формируется на эффективной длине источника

$$L \sim \frac{c}{f_0} = 60 \text{ km}.$$

Здесь c — скорость света.

Непосредственное наблюдение показывает, что высота h между облаком и поверхностью Земли составляет несколько километров. Для определенности примем, что

$$h = 2 \text{ km}.$$

При этом основная частота излучения была бы

$$f \sim \frac{c}{h} = 150 \text{ kHz}.$$

Если оставить вышеприведенное значение для времени релаксации, то затухающее излучение, формируемое на

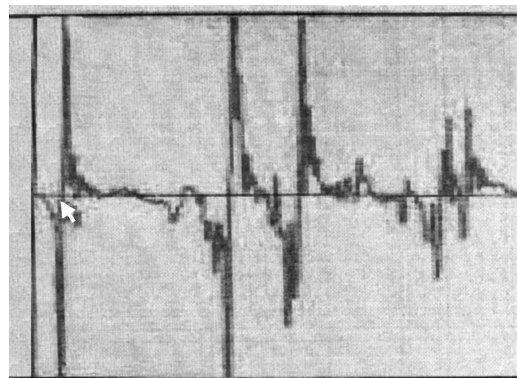


Рис. 1. Реальная картина разряда молнии (кадр с экрана компьютера). Показана прямая волна, волна, отраженная от ионосферы, опущена. Продолжительность разряда (ширина кадра) $500 \mu s$.

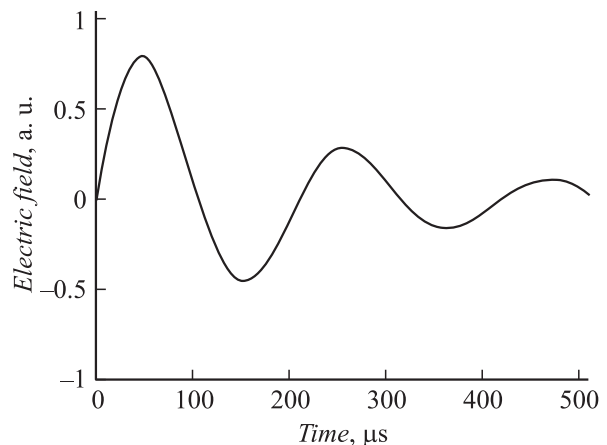


Рис. 2. Аппроксимация затухающей прямой волны (рис. 1), длина излучателя $\sim 60 \text{ km}$, электрическое поле $E(t) = \exp(-t/200) \sin(0.03t)$.

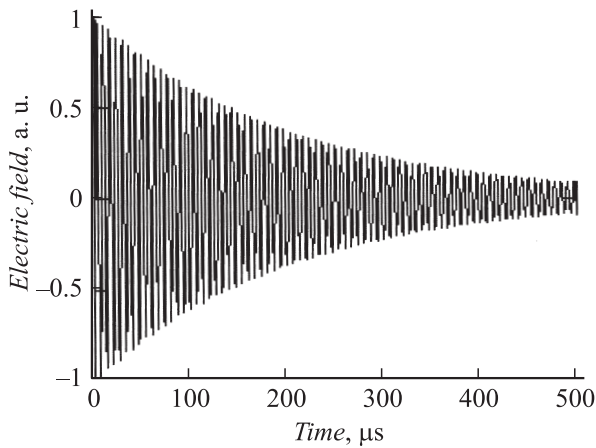


Рис. 3. Излучение электромагнитной волны от источника длиной ~ 2 km, электрическое поле $E(t) = \exp(-t/200) \sin(0.94t)$.

длине h , будет описываться функцией

$$E(t) = \exp(-t/200) \sin(0.94t). \quad (3)$$

Его график представлен на рис. 3. Видим, что между рис. 1 и 3 нет ничего общего. Таким образом, можно заключить, что широкополосный разряд молнии формируется от источника, имеющего длину несколько десятков километров.

Различие между видимой высотой, скажем, в 2 km и эффективной длиной в 60 km можно объяснить следующим образом. С точки зрения фрактальной геометрии разряды молнии настолько извилисты, что на длине 2 km укладывается извилистая линия общей длиной в 60 km. Действительно, для известной кривой Коха [2] ее длина L определяется как

$$L = h \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^n. \quad (4)$$

Здесь n — число итераций при построении кривой Коха, $D = \ln 4 / \ln 3$ — фрактальная размерность кривой Коха, h — расстояние по прямой от одного конца линии к другому. Подставляя $L = 60$ km и $h = 2$ km, находим

$$n = 12.$$

Мы получили необходимое число итераций, чтобы моделировать геометрию разрядов молнии кривой Коха. Поскольку, продолжительность разряда на рис. 1 есть $500 \mu\text{s}$, то из полученного результата следует, что при формировании разрядов молнии на одну итерацию требуется $500/12 \approx 40$ nks. Если вместо кривой Коха взять кривую Гивена [2], то вместо (4) будем иметь

$$L = h \cdot \left(\frac{5}{3}\right)^n.$$

Отсюда число итераций $n = 7$. Рассмотренные примеры показывают, что моделирование геометрии разрядов

молнии существенно зависит от выбора фрактальной линии.

Таким образом, независимо от [1] установлено, что разряды молнии можно моделировать с помощью методов фрактальной геометрии. Теория, которой пока нет, должна установить закономерности разрядов молнии от фрактальной размерности. Однако остался еще открытым вопрос о числе итераций. Реальные разряды молнии, очевидно, должны зависеть только от фрактальной размерности, и никак от числа итераций.

Список литературы

- [1] Балханов В.К., Башкуев Ю.Б., Козлов В.И., Муллаяров В.А. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 1. С.152–155.
- [2] Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 262 с.