



Непрерывное и ступенчатое распространение лидера молнии

д.ф.-м.н. Николай Александрович Попов

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Лидерный процесс является универсальным механизмом пробоя длинных воздушных промежутков с резко неоднородным распределением электрического поля [1,2]. Типичным примером лидерного процесса являются молниевые разряды, поэтому интерес к этим исследованиям связан, в частности, с актуальными приложениями в области физики молнии и молниезащиты.

Исследованиям лидерного канала в лабораторных условиях в промежутках от нескольких метров до нескольких десятков метров посвящено множество работ. Лидер рождается около электрода в стебле начальной вспышки импульсной короны, где газ достаточно прогрет суммарным током стартующих от общего основания (стебля) стримеров. Лидер может возникнуть как сразу после первичной вспышки импульсной короны, так и после темновой паузы, которая может длиться десятки микросекунд [1-4].

В отличие от отрицательного лидера, распространение положительных лидеров, как правило, происходит в *квазинепрерывном* режиме [1,2]. Задача моделирования параметров положительного лидера обычно рассматривается в одномерном (осесимметричном) приближении при заданной динамике импульса тока [3]. Последнее приближение оправдано, поскольку величина тока определяется процессами в стримерной зоне и непосредственно от параметров создаваемого лидерного канала не зависит. Использование токового приближения позволяет адекватно описать данные измерений скорости распространения лидера, эволюции поля в канале, радиуса канала и температуры газа.

При относительно малых напряжениях положительный искровой разряд существует, как правило, в виде *последовательности стримерных вспышек*, разделенных темновой паузой [1,2]. В паузе между вспышками разрядный промежуток практически не светится, поэтому обычно предполагалось, что во время этих темновых пауз разрядная активность в промежутке пренебрежимо мала. В работах последнего времени показана возможность существования в темновой паузе заметной разрядной активности, в частности, образование горячего плазменного канала с токами $I = 0.5 - 5 \text{ mA}$ [4-6].

Особый интерес представляет описание *ступенчатого* распространения искровых разрядов. Как известно, отрицательные лидеры в воздухе атмосферного давления всегда распространяются ступенчато [1,2]. Однако в последнее время выяснилось, что в определенных условиях (например, при высокой влажности воздуха) положительные лидеры также распространяются ступенчато (см., например, [7]). Каждая новая ступень образуется из ярко светящегося ядра, формирующегося в стримерной короне перед головкой лидера. Это яркое ядро называют *space stem* [1,2], и процесс его образования

составляет основу механизма ступенчатого распространения лидерных каналов [1]. Следует отметить, что хотя ступенчатый характер распространения лидерных разрядов был открыт более 50 лет назад, вопрос об описании механизма формирования *space stem* до сих пор остается открытым.

Подготовка лекции поддержана Российским научным фондом (проект 23-17-00264).

1. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* — Искровой разряд. Издательство МФТИ. 1997. — 320 с.
2. *Rakov V.A., Uman M.A.* — Lightning: physics and effects: Cambridge university press. 2003. — 679 p.
3. *Попов Н.А.* Формирование и развитие лидерного канала в воздухе // Физика плазмы. — 2003. — Т. 29 — С. 754-767.
4. *Базелян Э.М., Попов Н.А.* Ступенчатое развитие положительной длинной искры в воздухе // Физика плазмы. — 2020. — Т. 46 — С. 237-250.
5. *Cheng C. et al.* Temperature measurements of long sparks in air using time-resolved deflectometry // J. Phys. D: Appl. Phys. — 2022. — Vol. 55 — 265201.
6. *Zhao X., Becerra M., Wang X. et al.* Ionization activity detected during dark periods in long air positive sparks // J. Geophys. Res. — 2023. — Vol. 128 — e2023JD038732.
7. *Huang Shi et.al.* Separated luminous structures leading positive leader steps // Nature communication. — 2022. — Vol. 13 — 3655-3664.