

А. А. ЗАИЦЕВ

**КОЛЕБАНИЯ В РАЗРЯДЕ  
КАК ИСТОЧНИК БЕГУЩИХ СЛОЕВ**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 18 VI 1951)

Бегущие слои (страты) в разряде мало изучены. Небольшое число измерений до сих пор сделано только в инертных газах и получено, что слои движутся от анода к катоду.

В работе исследованы колебательные процессы в чистом неоне, в неоне и аргоне с молекулярными примесями и в воздухе. Одновременно проводилось изучение бегущих слоев. Разряд происходил в цилиндрических трубках разных диаметров и длиной 80 см. Плоский катод изготовлялся из молибдена. Анод был подвижный и выполнялся из Ni или Al в виде диска или проволоки диаметром 0,3 и 0,7 мм в центре диска. Проволока и диск имели каждый свой вывод и к ним можно было подвести желаемое напряжение. Сила тока в цепи менялась от 0,1 до 20 ма, давление газа от десятых долей до нескольких миллиметров ртутного столба. Трубка питалась постоянным током от аккумуляторной батареи через омическое сопротивление. Изучение колебаний велось при помощи электронного осциллографа (1). Структура столба с бегущими слоями рассматривалась при помощи вращающегося диска со щелью или же в зеркале с осью вращения, параллельной трубке. Скорость бегущих слоев измерялась по наклону полос, даваемых подвижными слоями в зеркале. Частота мигания слоев может быть измерена либо стробоскопом, либо при помощи фотоэлемента. Переменный фототок, вызываемый бегущими слоями, после усиления подавался на пару пластин осциллографа с отградуированной разверткой.

В неоне при малых токах и давлениях порядка 1 мм рт. ст. и ниже появляются неоднородности в свечении столба (стационарные слои); затухающие по направлению к аноду. Наблюдения в стробоскоп показывают, что одновременно со стационарными слоями могут существовать и бегущие слои, движущиеся в направлении от анода к катоду (анодные бегущие слои). Бегущие слои в той или иной мере деформируются и меняют свою скорость в области стационарных слоев, что является причиной появления в некоторых случаях «спутников» основных слоев. При больших токах и давлениях ( $i > 6-7$  ма,  $p > 2$  мм рт. ст.) неоднородности в свечении столба сглаживаются. В широких трубках (диаметр  $> 3$  см) бегущие слои без заметного изменения в яркости движутся через весь столб от анода, доходят до головки столба и там пропадают. Головка пульсирует с частотой мигания бегущих слоев. Бегущие слои редко распространяются дальше до отрицательного тлеющего свечения. При наличии стационарных неоднородностей бегущие слои могут затухать. Иногда и в широких трубках наблюдается мигание головки столба с частотой, кратной частоте бегущих слоев. В таких случаях в зеркале видны еще тонкие линии, идущие от головки в сторону анода и наклоненные к оси в ту же сторону, что и яркие полосы, но на меньший угол. Эти линии бывают заметны у катодного

конца столба. Благодаря колебаниям головки с частотой, кратной частоте мигания основных бегущих слоев, возникает вторая система анодных бегущих слоев, движущихся с большей скоростью.

Две системы анодных бегущих слоев одновременно при одних и тех же условиях часто наблюдаются в более узких трубках (диаметр 1,5—2,4 см). Здесь при малых токах возникают бегущие слои, резкие у катодного конца столба. Они заметно затухают в сторону анода. Частота мигания бегущих слоев равна частоте мигания головки столба. С увеличением тока при некотором его значении (в зависимости от давления) скачком появляется вторая система анодных бегущих слоев, резких у анодного конца, как и в широких трубках, и движущихся с меньшей скоростью. Частота мигания этой системы бегущих слоев меньше частоты мигания головки столба. Так например, в трубке диаметром 2,4 см при давлении 4 мм рт. ст. в пределах тока от 1 до 5 ма существуют анодные бегущие слои, резкие у катодного конца столба. При токе в 5 ма появляется еще вторая система слоев, резких у анода. Эти бегущие слои показывают гистерезис в зависимости от тока. Они возникают при определенном токе, когда ток растёт, и исчезают при меньшем токе с уменьшением его.

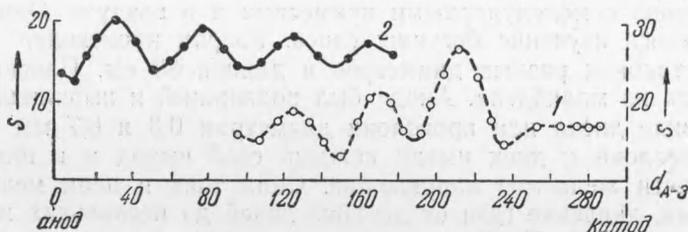


Рис. 1. Зависимость амплитуды колебания  $s$  от расстояния зонд — анод.  $s$  дана в относительных единицах. Диаметр трубки 2,4 см. 1 —  $p = 2,5$  мм рт. ст.;  $i = 1,5$  ма; 2 —  $p = 4$  мм рт. ст.,  $i = 5$  ма

Слои, резкие у катодного конца столба, связаны с процессами в головке столба и в темном пространстве за головкой. Скорость бегущих слоев и их резкость меняются при воздействии снаружи магнитом на катодный конец столба. Действие магнитного поля особенно эффективно за головкой столба и бегущие слои могут даже полностью исчезнуть. Другая система слоев, резких у анодного конца разряда, связана с процессами у анода. На них удается воздействовать или же совсем их уничтожить, возмущая полем магнита анодную область.

Бегущие слои вызывают периодические изменения потенциала в плазме и на стенке разрядной трубки. Колебания потенциала в разных местах в столбе относительно анода были измерены с помощью подвижного зонда. В тех местах, где колебания потенциала, вызываемые бегущими слоями, совпадают по фазе с колебаниями, даваемыми переменным током в цепи, наблюдаются наибольшие амплитуды. Картина повторяется с периодом, равным периоду бегущих слоев. На рис. 1 показаны соответствующие кривые. Кривая 2 получена при наличии бегущих слоев, резких у анода (система слоев, резких у катода, подавлена). Из рисунка видно затухание бегущих слоев по направлению к катоду. Кривая 1 соответствует измерениям со слоями, резкими у катода и затухающими по направлению к аноду.

Обнаружены закономерности, общие как для анодных колебаний (1), так и для анодных бегущих слоев. При наличии стационарных неоднородностей в столбе условия возникновения анодных бегущих слоев (резких у анода), а также и их скорость зависят при прочих

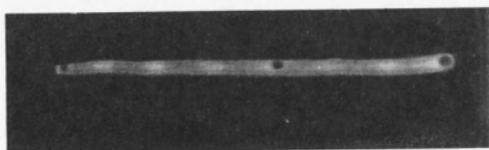


Рис. 2. Квазистационарные слои в неоне.  
Диаметр трубки 2,4 см.  $p = 4$  мм рт. ст.,  
 $i = 6$  ма. Анод справа

равных условиях от расстояния между электродами. Это показывает, что между колебаниями и бегущими слоями в разряде существует тесная связь.

Причиной появления бегущих слоев являются колебательные процессы. В слоистом разряде в загрязненных инертных газах было доказано существование очага колебаний в анодной области (1). И в чистых инертных газах анодная часть разряда может явиться источником колебаний. Однако для возникновения бегущих слоев необходимо, чтобы колебания были достаточно интенсивны и имели подходящую частоту. Поэтому даже в чистом неоне наблюдаются случаи, когда колебания у анода не сопровождаются появлением бегущих слоев. Колебания могут генерироваться также в начале столба и обнаруживаются в виде мигания головки.

Изложенная точка зрения о связи бегущих слоев с колебательными процессами находит дальнейшее и прямое подтверждение. Анодные бегущие слои были вызваны искусственно при таких условиях, когда они нормально не возникают. При помощи генератора переменного тока возмущению подвергались анодная и катодная области разряда, фарадеево темное пространство и начало столба. Во всех случаях навязанное возмущение вызывает появление бегущих слоев. Бегущие слои появляются также, когда генератор включается в цепь последовательно. Они не возникают при малых частотах ( $\nu < 200$  гц). Признаки слоев появляются в зависимости от частоты при амплитудах колебаний от 2 до 4 в. Когда в разряде уже имеются бегущие слои, то искусственно удается вызвать еще систему бегущих слоев. Полосы, даваемые в зеркале искусственными бегущими слоями, удается легко отличить от полос, образуемых естественными слоями, так как скорость искусственных слоев зависит от частоты генератора.

В совершенно однородном при простом наблюдении разряде можно искусственно вызвать образование неподвижных слоев (см. рис. 2 на вклейке). Неподвижные слои отчетливо вырисовываются, если генератор колебаний включить последовательно с трубкой и подобрать частоту генератора равной частоте мигания бегущих слоев, вызванных колебаниями внутри самого разряда. Неподвижные слои возникают в результате усиления бегущих слоев в одних и тех же местах в трубке и представляют собой квазистационарные слои.

Образование квазистационарных слоев может наблюдаться в разряде и в естественных условиях. В частности, такие слои могут возникать у анода, и тогда они воспринимаются как анодные неподвижные слои.

В воздухе и в загрязненном неоне и аргоне наблюдаются слои, движущиеся от катода к аноду (катодные бегущие слои). Иногда одновременно существуют системы слоев, движущихся навстречу друг другу (катодные и анодные бегущие слои). Анодные бегущие слои были вызваны искусственно также и в воздухе. Таким образом, бегущие слои являются распространенным явлением в разряде и наблюдаются не только в инертных газах, но и в молекулярных (воздух).

Причиной их являются колебательные процессы в разряде, причем источники колебаний могут быть локализованы в разных частях разряда. Возмущения положительного столба, вызываемые в часто наблюдаемых случаях источниками, локализованными в анодной области или в начале столба, вероятно, распространяются через столб в виде продольных электрических волн (бегущих слоев).

Физический институт  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
14 VI 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 А. А. Зайцев, Вестн. МГУ, № 9 (1950).