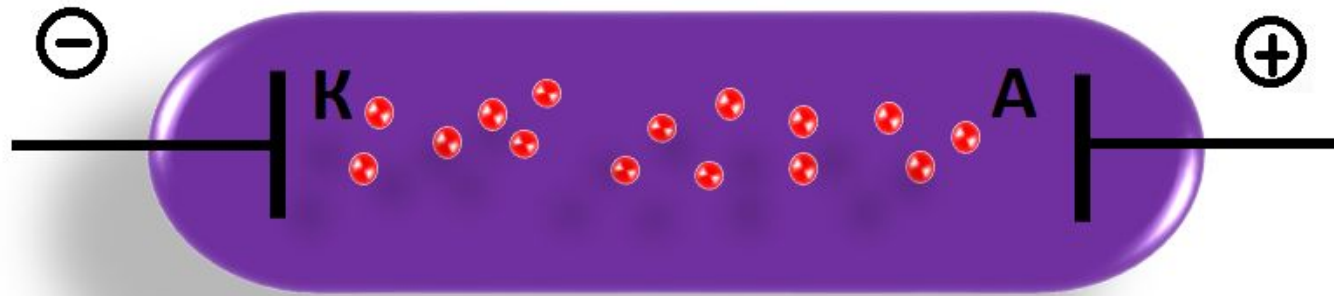


# Газовый разряд

– это совокупность сложных физических явлений, представляющих собой электрический пробой газа (превращение непроводящего вещества в проводник под действием сильного поля). При достаточно высоком напряжении в газе происходит пробой и возникает ионизированное состояние - плазма.

Для изучения разрядных процессов служит газоразрядная трубка.




Разряд и электрический ток, которые возникают только благодаря действию посторонних причин, называют несамостоятельными. При увеличении напряжения несамостоятельный ток сначала возрастает, затем достигает насыщения. Далее, увеличивая напряжение, ток резко возрастет и появится свечение. Это происходит пробой. Разряд приобретает самостоятельность.

В зависимости от процессов образования ионов в разряде при различных давлениях газа и напряжениях, приложенных к электродам, различают


## Четыре типа самостоятельных разрядов




Тлеющий



Искровой



Коронный



Дуговой

# Тлеющий разряд

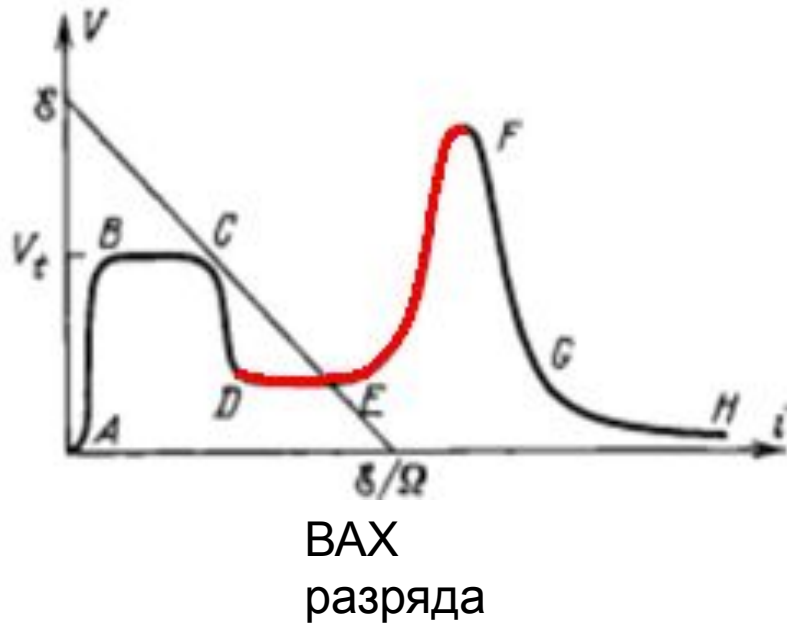
— один из видов стационарного самостоятельного электрического разряда в газах. Наиболее изученный и широко применяемый на практике тип газового разряда.

- Образуется при низких давлениях (1-10 Тор/ доли мм.рт.ст.) и большом электрическом сопротивлении внешней цепи.
- Характерна небольшая сила тока  $I \sim (10^{-6}-10^{-1} \text{ А})$  и высокое напряжение (100-1000 В)
- Широко применяется в лампах дневного света, газосветных трубках(реклама), ртутных УФ лампах, неоновых лампах, импульсных лампах, газовых лазерах.



# Вольт-амперная характеристика разряда

- Тлеющий разряд существует в определенном интервале значений разрядного тока.
- Электрическое напряжение  $\mathcal{E} = V + i\Omega$  в замкнутой цепи, включающей разрядный промежуток, имеет вид:  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 + V + i\Omega$ , где  $\mathcal{E}_0$  - ЭДС источника,  $V$  - напряжение на электродах,  $i$  - сила тока,  $\Omega$  - омическое сопротивление.
- Это уравнение изображается *нагрузочной прямой* на графике. Реализуются те значения, которым отвечает пересечение нагрузочной прямой и ВАХ.



**A-** область несамостоятельного разряда

**BC-** темный таунсендовский разряд (из-за малости ионизации газ не обладает свечением)

**DE-** нормальный тлеющий разряд

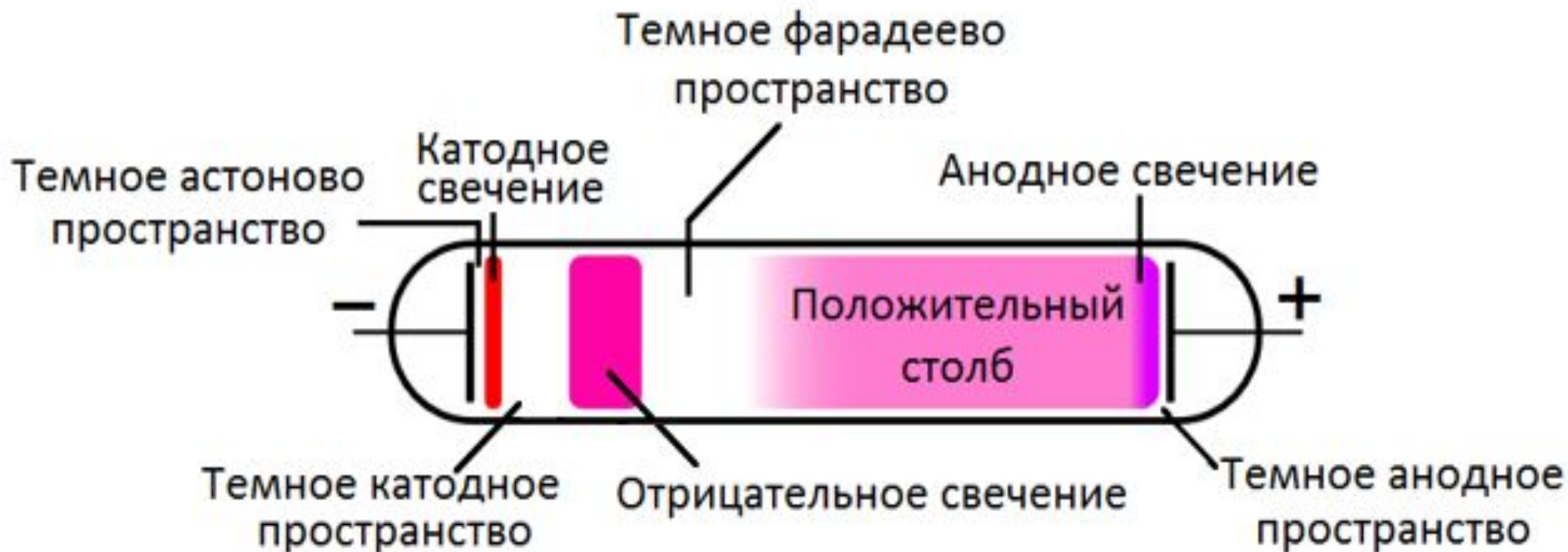
**EF-** аномальный тлеющий разряд

**FG-** переход в дугу

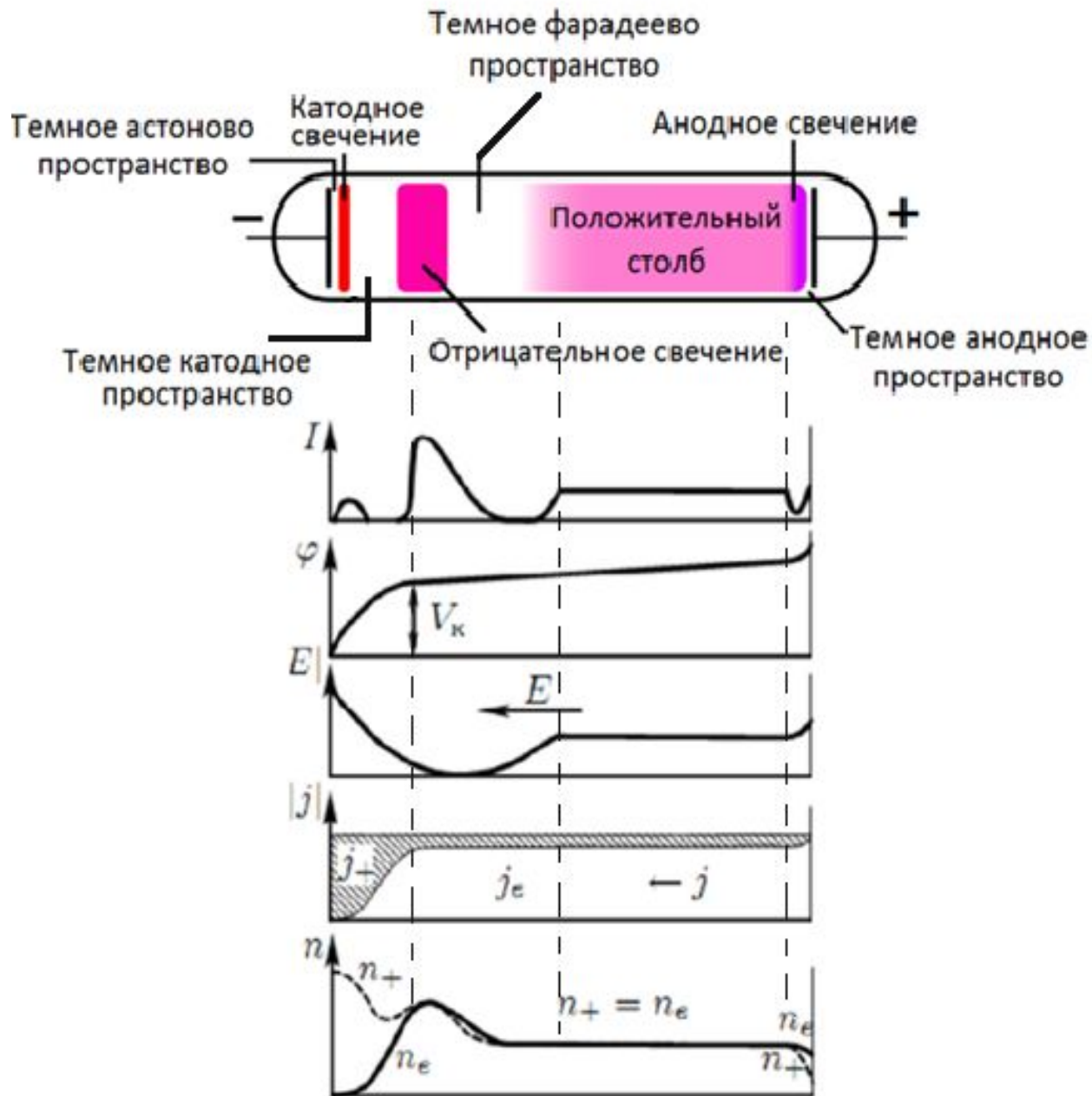
**GH-** дуга

# Структура тлеющего разряда

-самоподдерживающийся разряд с холодным катодом, испускающим электроны в результате вторичной эмиссии, главным образом под действием положительных ионов. Для его получения и исследования служит классический прибор-разрядная трубка.







Распределение интенсивности свечения  $I$ , напряженности поля  $E$ , потенциала  $\varphi$ , плотностей ионного и электронного тока  $j$  и заряда  $n$

Отличительный признак тлеющего разряда - существование вблизи катода слоя определенной толщины с большим положительным объёмным зарядом, сильным полем у поверхности и значительным падением потенциала (100 В и выше)-это явление носит название *катодного падения*

# Искажение внешнего поля

Его вносит пространственный заряд.

Распределение поля в пространстве определяется уравнением электростатики:

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi e(n_+ - n_e) \approx 4\pi en_+ \quad E \equiv E_x$$

Полагаем приближенно

$$n_+ \gg n_e \quad |j_+| \gg |j_e| \quad n_+ \approx \frac{j}{ev_{+д}} \approx \frac{j}{e\mu_+E}$$

$$E(x) = E_K \sqrt{1 - \frac{x}{d}} \quad , \text{ где } \quad d = \frac{\mu_+ E_K^2}{8\pi j}$$

$E_K$  – поле у катода

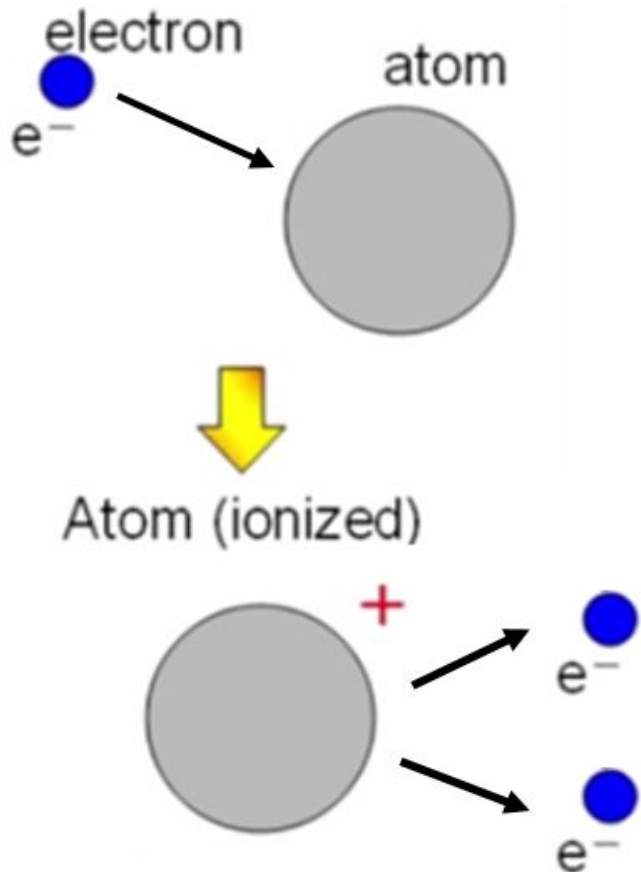


Переход к нормальному тлеющему разряду при

$$d=L.$$

L-длина трубки.

# Процессы, поддерживающие тлеющий разряд

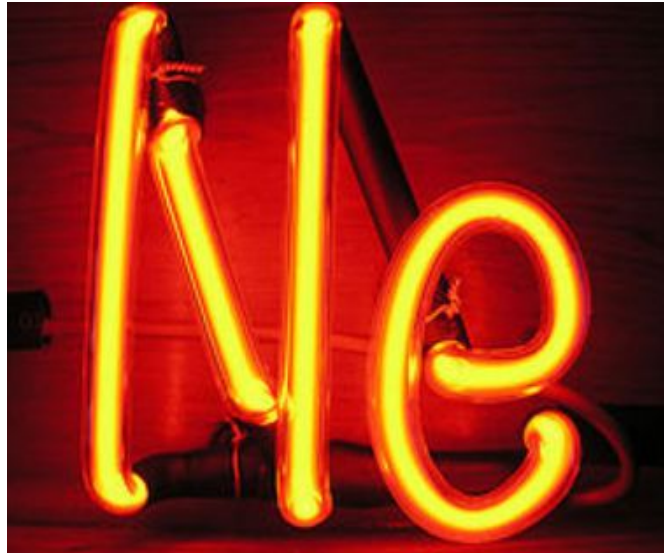


Основными процессами, поддерживающими разряд являются ионизация электронными ударами в объёме и вторичная электронная эмиссия на катоде.

При повышении давления все слои сжимаются и стягиваются к катоду. При сближении электродов будет сокращаться положительный столб.



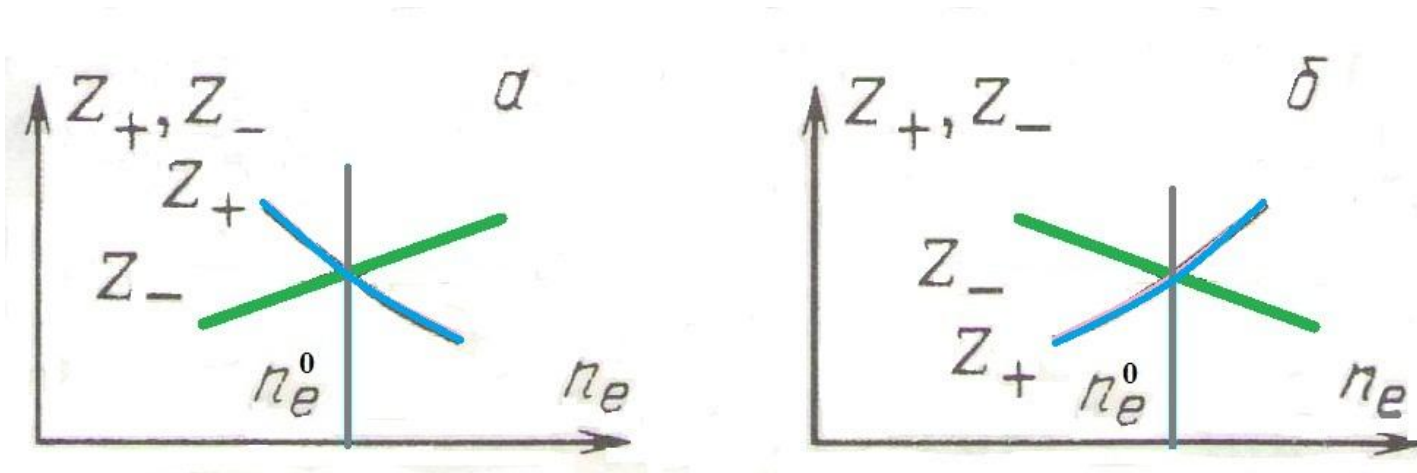
# Цвета тлеющих разрядов в различных газах



# НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Однородное состояние положительного столба тлеющего разряда оказывается неустойчивым, когда:

- 1) разряд происходит в больших объемах
- 2) давления повышены
- 3) сильны ток и выделение джоулева тепла

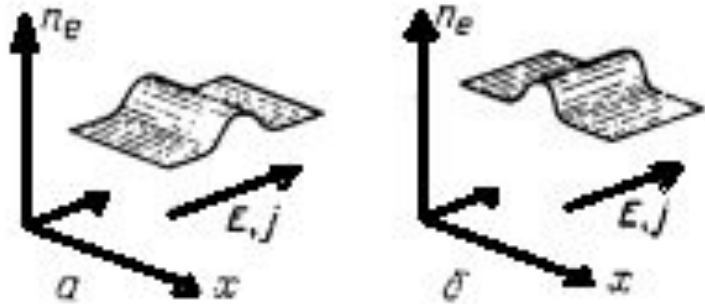


$$\frac{dn_e}{dt} = Z_+ - Z_-$$

Качественная картина расположения кривых скоростей рождения и гибели электронов в окрестностях устойчивого (а) и неустойчивого (б) состояний

# ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПЛАЗМЫ

Развитие неустойчивости, т.е. катастрофическое нарастание первоначально малого возмущения приводит к тому, что плазма переходит в иное, *пространственно неоднородное состояние*. Конечный результат при развитии возмущений зависит от ориентации неоднородностей относительно выделенного направления в разрядном пространстве – вектора электрического поля и тока



Схемы продольных (а) и поперечных (б) возмущений электронной плотности

Пространственно неоднородные  
состояния



**Страты**

**Контракция**

параметры  
разряда меняются  
полю

вдоль поля

нарастание  
поперечных

возмущений

# СТРАТЫ

– чередующиеся в пространстве и времени светлые и темные слои (области повышения и уменьшения плотности электронов и других параметров разряда).

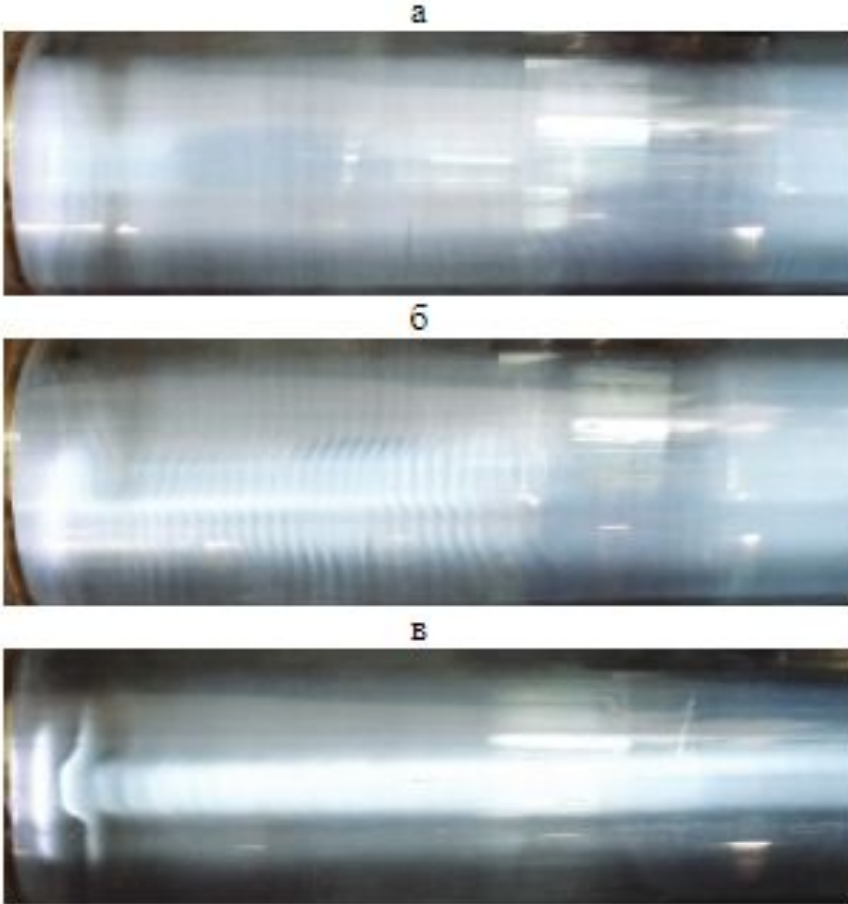


- Страты движутся в направлении от анода к катоду.
- Страты представляют собой ионизационные колебания и волны.  
Это значит, что периодические изменения электронной плотности вызваны чередованием областей, в которых электроны преимущественно рождаются и преимущественно гибнут.
- Механизмы неустойчивостей, вызывающие возникновение страт, связаны с ионизационными процессами.



# КОНТРАКЦИЯ

– стягивание плазмы в ярко светящийся токовый шнур.



## Условия возникновения контракции:

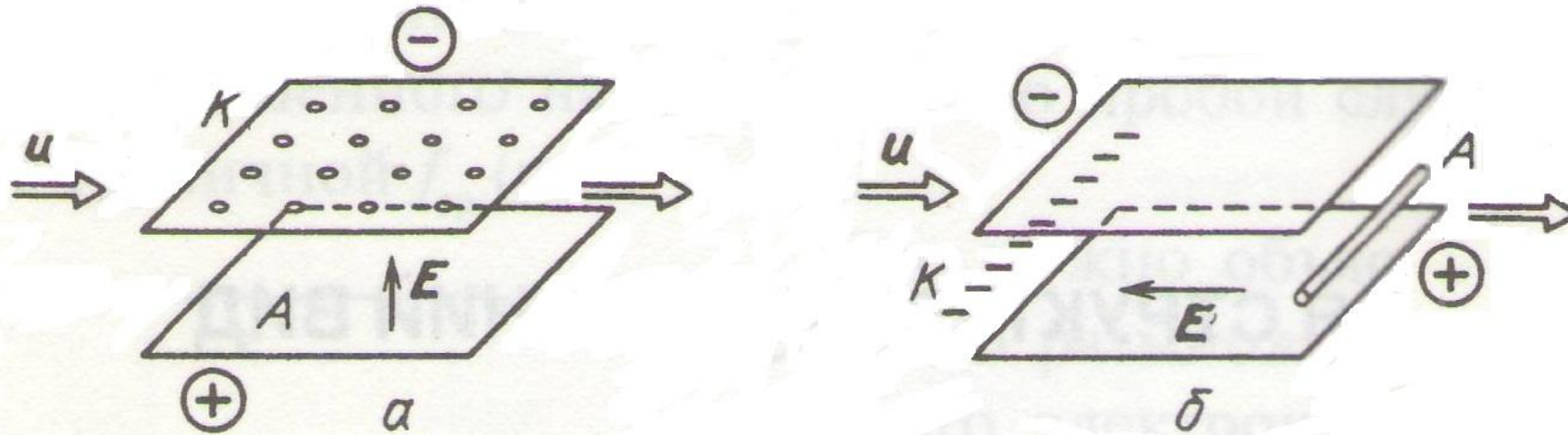
1. Электроны должны рождаться преимущественно там, где высока их плотность.
2. Частота ионизации  $\nu_i$  должна резко падать от оси к периферии.
3. Должна существовать какая-то нелинейно возрастающая зависимость скорости рождения электронов от  $n_e$ , более быстрая, чем обычная  $-\nu_i n_e$  с  $\nu_i(E) = \text{const}$ .
4. Гибель электронов должна быть достаточно быстрой, чтобы, будучи рожденным в шнуре, электрон не мог далеко продиффундировать из него в сторону.

Фотография разряда в диффузном и контрагированном режимах.  $p = 0,5 \text{ Тор}$ ,  $I = 1 \text{ мА}$  (а),  $I = 2 \text{ мА}$  (б),  $I = 20 \text{ мА}$  (в). Катод располагается слева, анод справа за пределами фотографий.

# ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ГАЗОВЫХ ЛАЗЕРАХ

Из всех существующих лазеров длительного действия наиболее мощными, продвинутыми в практическом отношении и приспособленными для технологических операций являются электроразрядные  $\text{CO}_2$ -лазеры.

Верхний лазерный уровень в электроразрядных  $\text{CO}_2$ -лазерах заселяется путем возбуждения колебаний ударами электронов в плазме положительного столба тлеющего разряда.



Типичная геометрия тлеющего разряда в электроразрядных  $\text{CO}_2$  лазерах: а – поперечный разряд (ток идет перпендикулярно газовому потоку направления  $u$ ); верхняя плата усеяна катодными элементами  $K$ , нижняя служит анодом  $A$ ; б – продольный разряд; катодные элементы  $K$  расположены вверх по потоку, Анодом  $A$  служит трубка.



Спасибо за внимание!

