

# Вакуумные и газоразрядные электронные приборы



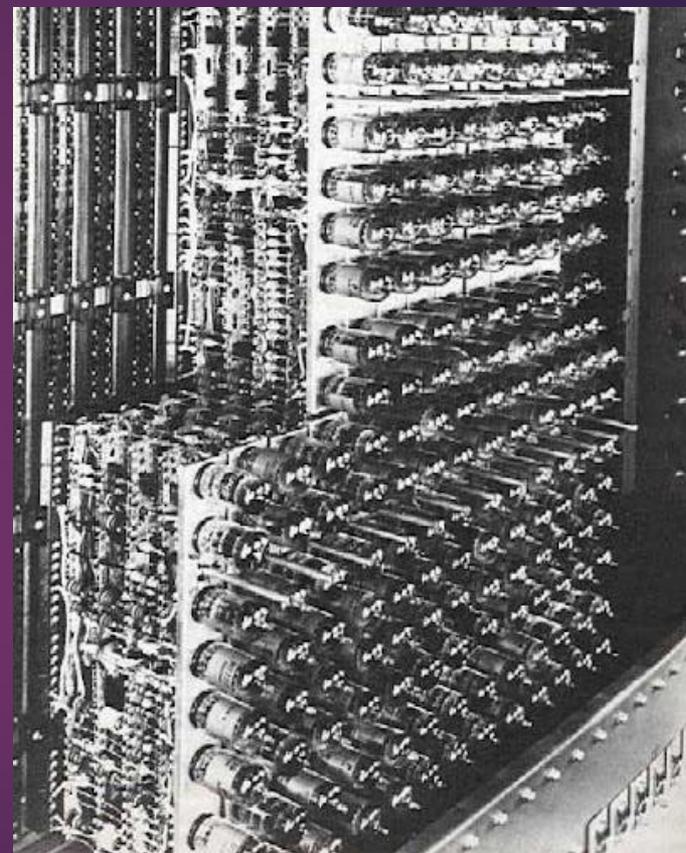
# Электрoвакуумные приборы

Электрoвакуумными приборами (ЭВП) называют приборы, в которых рабочее пространство, изолированное газонепроницаемой оболочкой, имеет высокую степень разрежения или заполнено специальной средой (пары или газы) и действие которых основано на использовании электрических явлений в вакууме или газе.



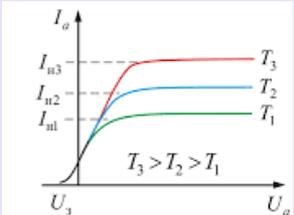
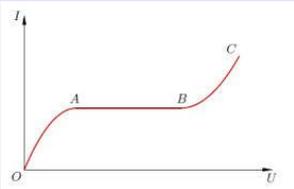
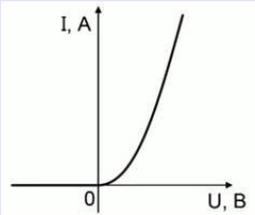
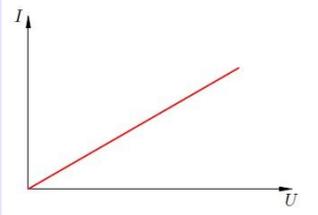


Разновидности электровакуумных ламп



IBM 701 на вакуумных лампах, 1952

Год	Ученый	Событие
1883	Томас Эдисон	открытие явления термоэлектронной эмиссии и прохождения электрического тока через вакуум
1888	А.Г. Столетов	открытие основных законов фотоэффекта
1895	А.С. Попов	открытие возможности передачи волн на расстояние
1904	Дж. Флеминг	сконструирован вакуумный диод
1906	Ли де Форест	изобретение вакуумного триода
1906	Г. Пиккард	изобретение точечного полупроводникового диода -детектора
1919	В. Шоттки	изобретение тетрода
1947	У. Браттейн	представлен действующий макет биполярного транзистора

	<b>Вакуум</b>	<b>Газы/Плазма</b>	<b>Полупроводники</b>	<b>Металлы</b>
<b>Природа свободных носителей заряда</b>	Электроны	Электроны, (+) и (-) ионы	Электроны и дырки	Электроны
<b>Механизм образования с.н.з.</b>	Термоэлектронная эмиссия - испускание электронов нагретыми до высокой температуры металлами	Ионизация – распад атомов на электроны и (+) ионы	Генерация электронов и дырок - разрыв ковалентных связей при поступлении в атомы избыточной энергии	При образовании кристаллической решётки наиболее удалённые от ядра атома электроны, слабо с ним связанные, отрываются и становятся свободными
<b>Особенности протекания тока в среде</b>	Односторонняя проводимость вакуумного диода, свойства электронных пучков	Газовый разряд сопровождается свечением	Запирающий слой р-п перехода Зависимость проводимости от освещённости	Сверхпроводимость- при температурах близких к абсолютному нулю у металлов исчезает сопротивление
<b>Применение проводящих свойств среды</b>	<b>Вакуумный диод</b> использовался для выпрямления переменного тока в постоянный <b>Вакуумный триод</b> использовался в усилителях электрических сигналов	Газоразрядные осветительные лампы Газоразрядные индикаторы Рекламные вывески, подсветки (неоновые трубки) Плазменные телевизоры	<b>Полупроводниковый диод</b> – для выпрямления переменного тока в постоянный. Фотоэлемент – устройство, в котором энергия света преобразуется в электрическую.	Подводящие <b>провода</b> в электрических цепях, обмотки реостатов, электромагнитов, электродвигателей генераторов, трансформаторов
<b>ВАХ</b>				

Тип прибора	Достоинства	Недостатки
<p>Электро- вакуумные</p>	<p>Высоковольтные, сильноточные Линейность ВАХ Радиационная стойкость Помехозащищенность</p>	<p>Массогабаритные параметры Срок службы Время выхода на режим КПД, экономичность Невозможность микроминиатюризации Низкая технологичность изготовления</p>
<p>Газоразрядные</p>	<p>Высоковольтные Радиационная стойкость Помехозащищенность</p>	<p>Массогабаритные параметры Срок службы Время выхода на режим КПД, экономичность Частотные свойства Невозможность микроминиатюризации</p>
<p>Полу- проводниковые</p>	<p>Микроминиатюризация Высокая технологичность изготовления КПД, экономичность Срок службы Надежность Частотные свойства Стоимость</p>	<p>Температурная зависимость Радиационная стойкость Старение Разброс параметров Собственные шумы Малая мощность</p>

# Электронная эмиссия.

## Виды электронной эмиссии

**Электронная эмиссия** – явление испускания электронов с поверхности металлических тел под действием температуры, лучистой энергии или сил электрического поля.

### **Виды электронной эмиссии:**

- термоэлектронная эмиссия,
- фотоэлектронная эмиссия,
- автоэлектронная эмиссия,
- вторичная электронная эмиссия.

# Работа выхода и потенциальный барьер

**Работа выхода** – величина энергии, которую необходимо затратить для вылета электронов с поверхности металла.

Работа выхода измеряется в электронвольтах (эВ).

**1 эВ** – работа, необходимая для перемещения электрона в электрическом поле с разностью потенциалов 1В.

Наибольшей работой выхода обладают тугоплавкие металлы - вольфрам, молибден, тантал, а также ртуть (работа выхода составляет от 1,8 эВ до 4,5 эВ).

Часто работу выхода характеризуют разностью потенциалов, которую должен преодолеть электроны при выходе из металла. Эту разность потенциалов называют **потенциальным барьером**.

# Термоэлектронная эмиссия

Термоэлектронная эмиссия – испускание электронов проводником в окружающую среду под действием температуры.

Любой нагретый проводник испускает электроны.

В чистых металлах заметная термоэлектронная эмиссия начинается при температуре  $2000^{\circ}\text{C}$ , поэтому катоды электронных ламп изготавливают из тугоплавких металлов (вольфрам, никель).

**Применение:** электровакуумные лампы – диоды, триоды, пентоды, кенотроны.

# Фотоэлектронная эмиссия

**Фотоэлектронная эмиссия** – испускание электронов с поверхности металлических тел под влиянием светового излучения, обладающего энергией, необходимой для вырывания электронов из атомов.

Светочувствительный проводник должен иметь работу выхода не более 3,1 эВ (щелочные металлы – цезий, калий, натрий).

**Применение:** фотоэлектронные умножители (ФЭУ).

# Автоэлектронная эмиссия

Автоэлектронная/электростатическая эмиссия – вырывание электронов с поверхности проводника под влиянием сил электрического поля достаточно большой напряженности.

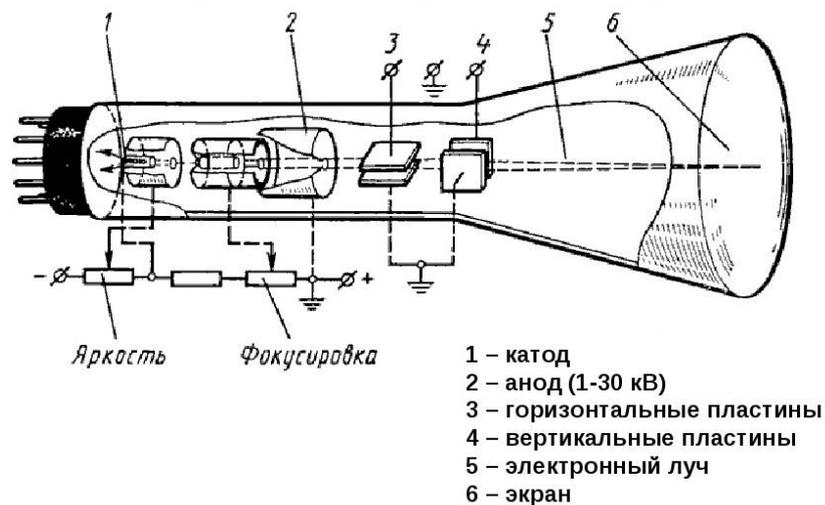
Внешнее электрическое поле уменьшает работу выхода, и при достаточной напряженности поля электроны покидают поверхность даже при нормальной температуре.

**Применение:** ртутные вентили.

# Вторичная электронная эмиссия

Вторичная электронная эмиссия – испускание электронов с поверхности металла в результате ее бомбардировки потоком электронов или ионов, летящих с большой скоростью.

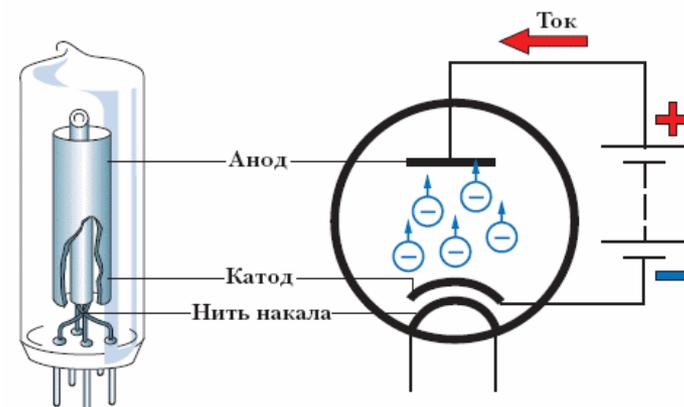
**Применение:** электронно-лучевые трубки



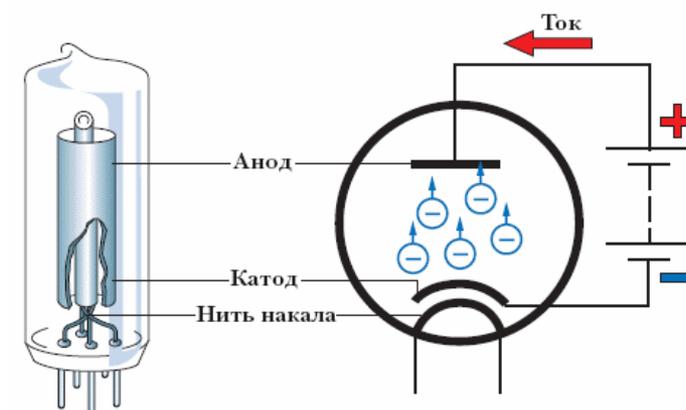
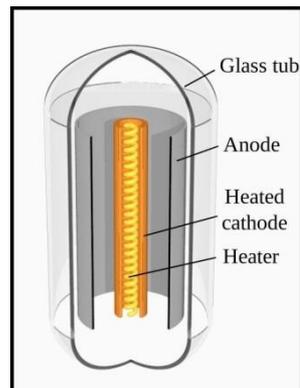
## Двухэлектродная лампа

Электровакuumный диод представляет собой баллон, в котором находятся два электрода - катод и анод. В баллоне присутствует давление  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  Па.

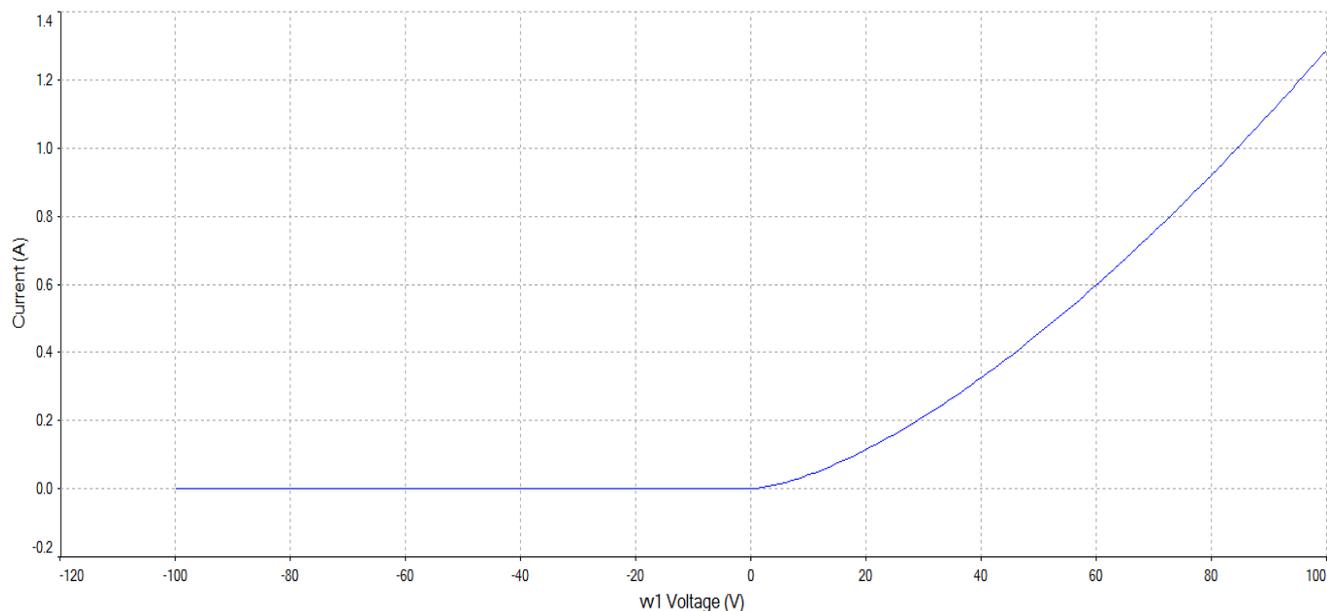
- При положительном напряжении между анодом и катодом возникает электрическое поле, под влиянием которого электроны, испускаемые нагретым катодом, переходят на анод, тем самым способствуют появлению электрического тока в вакуумном промежутке.
- При отрицательном напряжении между анодом и катодом ток в лампе будет отсутствовать.



# Двухэлектродная лампа



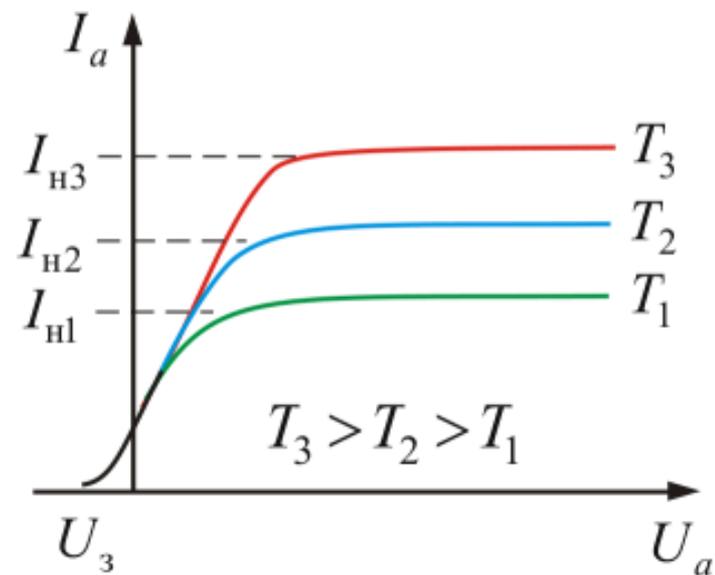
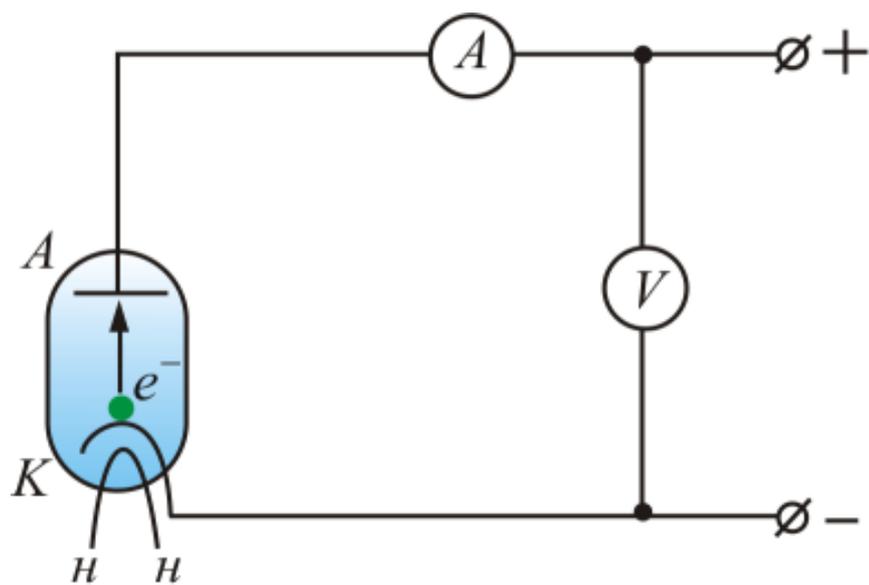
# Вольт-амперная характеристика диода



ВАХ вакуумного диода 5V3A

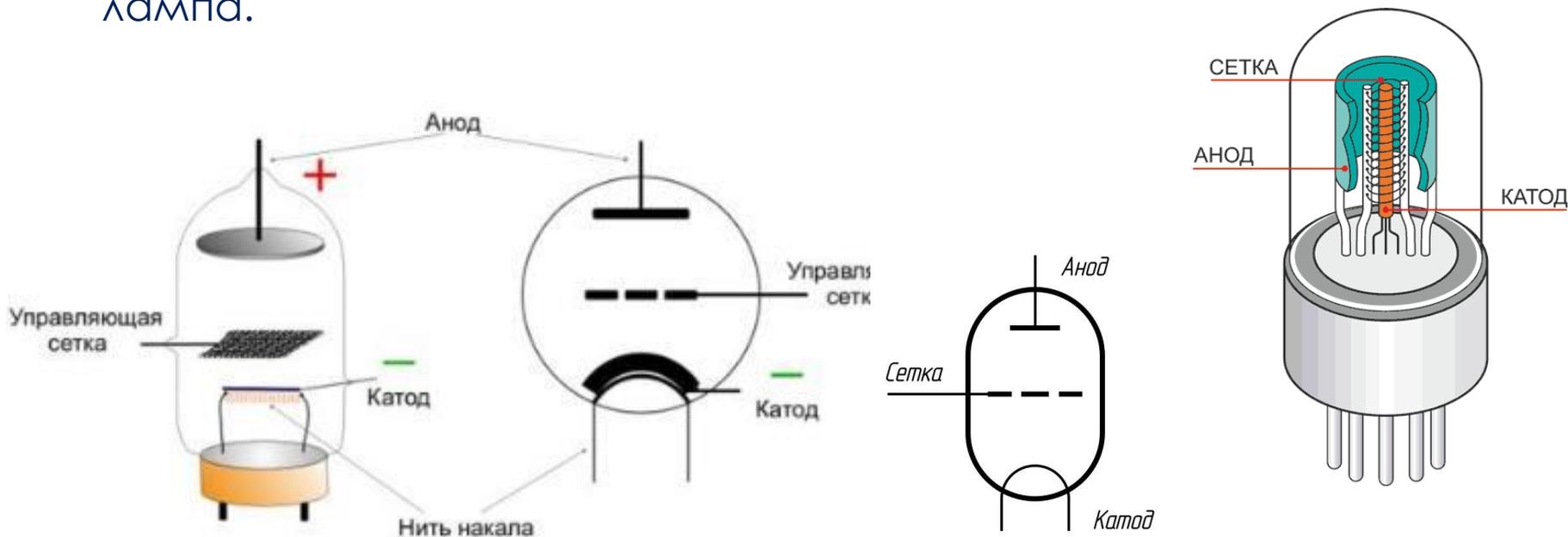
$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}, \left[ \frac{\text{mA}}{\text{B}} \right]$  - крутизна вольт-амперной характеристики

# Вольт-амперная характеристика диода

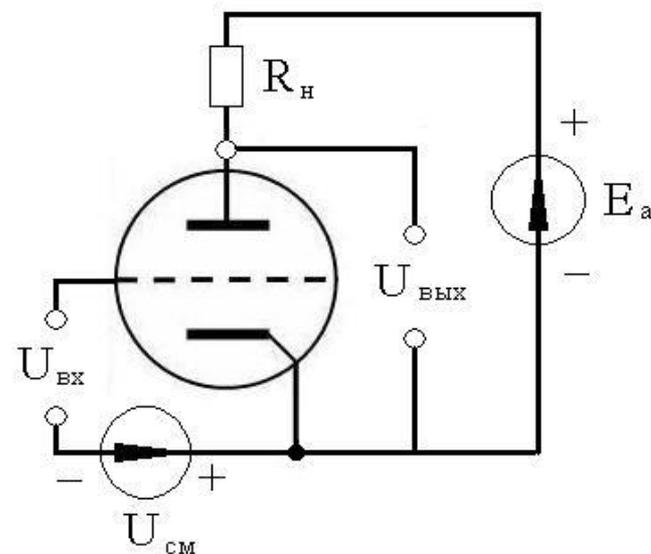
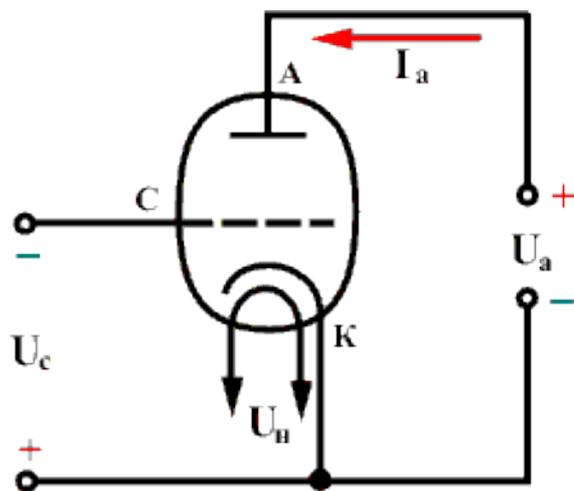


# Трехэлектродная лампа

Для управления плотностью потока электронов между анодом и катодом используется управляющий электрод - **сетка**. Простейшим представителем таких приборов является **триод** - трехэлектродная лампа.



# Схема включения триода





**2A3  
POWER TRIODE**

2A3

GENERAL DATA

**Electrical:**

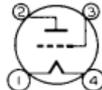
Filament, Coated:	
Voltage . . . . .	2.5 . . . . . ac or dc volts
Current . . . . .	2.5 . . . . . amp
Direct Interelectrode Capacitances (Approx.):*	
Grid to Plate . . . . .	16.5 . . . . . $\mu$ mf
Grid to Cathode . . . . .	7.5 . . . . . $\mu$ mf
Plate to Cathode . . . . .	5.5 . . . . . $\mu$ mf

\* With no external shield.

**Mechanical:**

Mounting Position . . . . .	Any
Maximum Overall Length . . . . .	5-3/8"
Maximum Seated Length . . . . .	4-3/4"
Maximum Diameter . . . . .	2-1/16"
Bulb . . . . .	ST-16
Base . . . . .	Medium-Shell Small 4-Pin
Basing Designation for BOTTOM VIEW . . . . .	4D

Pin 1 - Filament  
Pin 2 - Plate



Pin 3 - Grid  
Pin 4 - Filament

AMPLIFIER - Class A<sub>1</sub>

**Maximum Ratings, Design-Center Values:**

PLATE VOLTAGE . . . . .	300 max. volts
PLATE DISSIPATION . . . . .	15 max. watts

**Typical Operation and Characteristics:**

Plate Voltage . . . . .	250 . . . . . volts
Grid Voltage* . . . . .	-45 . . . . . volts
Amplification Factor . . . . .	4.2
Plate Resistance . . . . .	800 . . . . . ohms
Transconductance . . . . .	5250 . . . . . $\mu$ mhos
Plate Current . . . . .	60 . . . . . ma.
Load Resistance . . . . .	2500 . . . . . ohms
Second Harmonic Distortion . . . . .	5 . . . . . %
Power Output . . . . .	3.5 . . . . . watts

**Maximum Circuit Values:**<sup>□</sup>

Grid-Circuit Resistance . . . . .	{ fixed bias 0.05 max. megohm
	{ cathode bias 0.5 max. megohm

\* , <sup>▲</sup> , <sup>□</sup> : See next page.

← Indicates a change.



**2A3  
POWER TRIODE**

2A3

PUSH-PULL AMPLIFIER - Class AB<sub>1</sub>

**Maximum Ratings, Design-Center Values:**

PLATE VOLTAGE . . . . .	300 max. volts
PLATE DISSIPATION . . . . .	15 max. watts

**Typical Operation:**

Values are for 2 tubes

	Fixed Bias	Cathode Bias	
Plate Voltage . . . . .	300	300	volts
Grid Voltage* . . . . .	-62	-	volts
Cathode-Bias Resistor . . . . .	-	780	ohms
Peak AF Grid-to-Grid Voltage . . . . .	124	156	volts
Zero-Signal Plate Current . . . . .	80	80	ma.
Max.-Signal Plate Current . . . . .	147	100	ma.
Effective Load Resistance (plate to plate) . . . . .	3000	5000	ohms
Total Harmonic Distortion . . . . .	2.5	5.0	%
Power Output . . . . .	15	10	watts

**Maximum Circuit Values:**<sup>□</sup>

Grid-Circuit Resistance . . . . .	{ fixed bias 0.05 max. megohm
	{ cathode bias 0.5 max. megohm

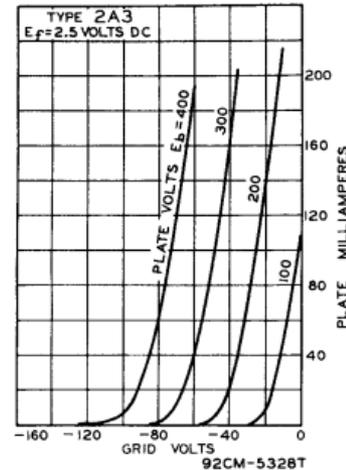
\* Grid voltage referred to mid-point of ac-operated filament.

▲ When a single 2A3 is operated cathode-biased, the cathode-biasing resistor value should be 780 ohms.

□ The type of coupling used should not introduce too much resistance in the grid circuit. Transformer or impedance-coupling devices are recommended.

• For zero-signal conditions.

**AVERAGE CHARACTERISTICS**



→ Indicates a change.

# Проходная характеристика триода

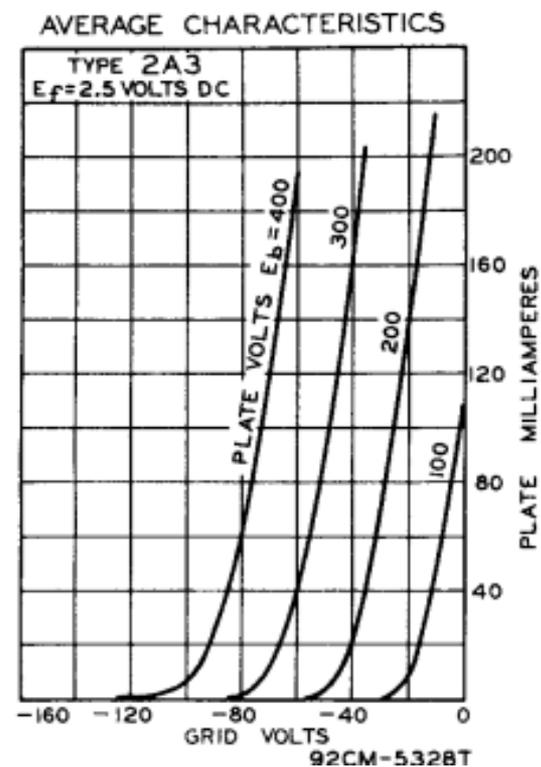
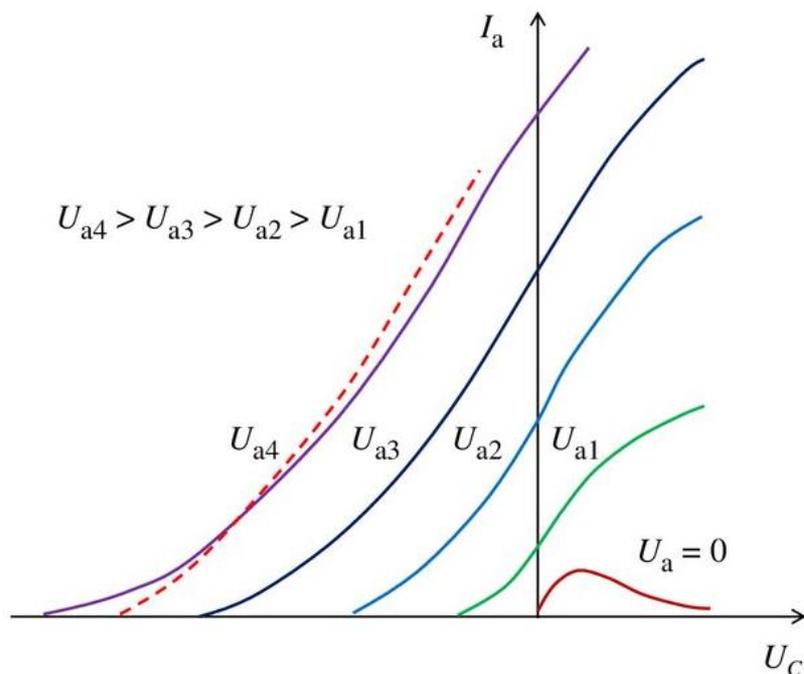
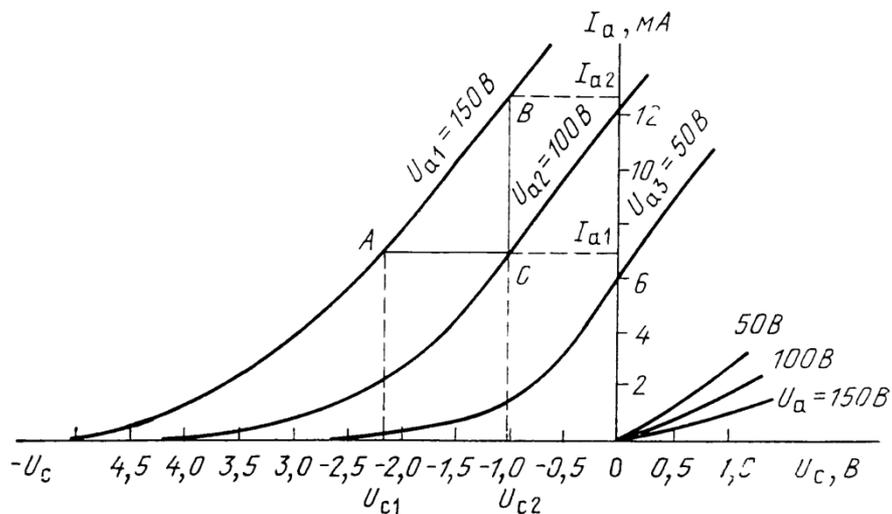


График зависимости тока анода от напряжения на сетке при постоянном напряжении на аноде:  $I_a = f(U_c)$  при  $U_a = const$

# Прходная характеристика триода



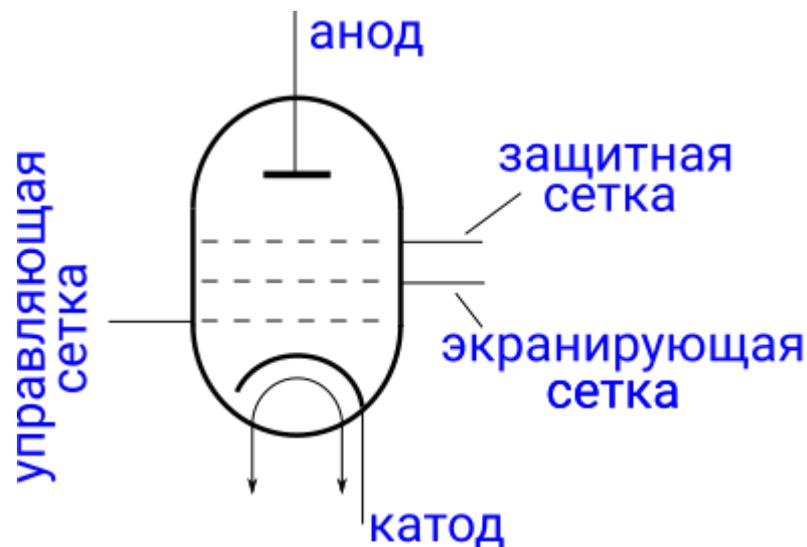
$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} \left[ \frac{\text{mA}}{\text{B}} \right]$  - крутизна проходной характеристики триода

$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} \left[ \frac{\text{B}}{\text{B}} \right]$  - коэффициент усиления триода

$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \left[ \frac{\text{B}}{\text{mA}} \right]$  - внутреннее сопротивление триода

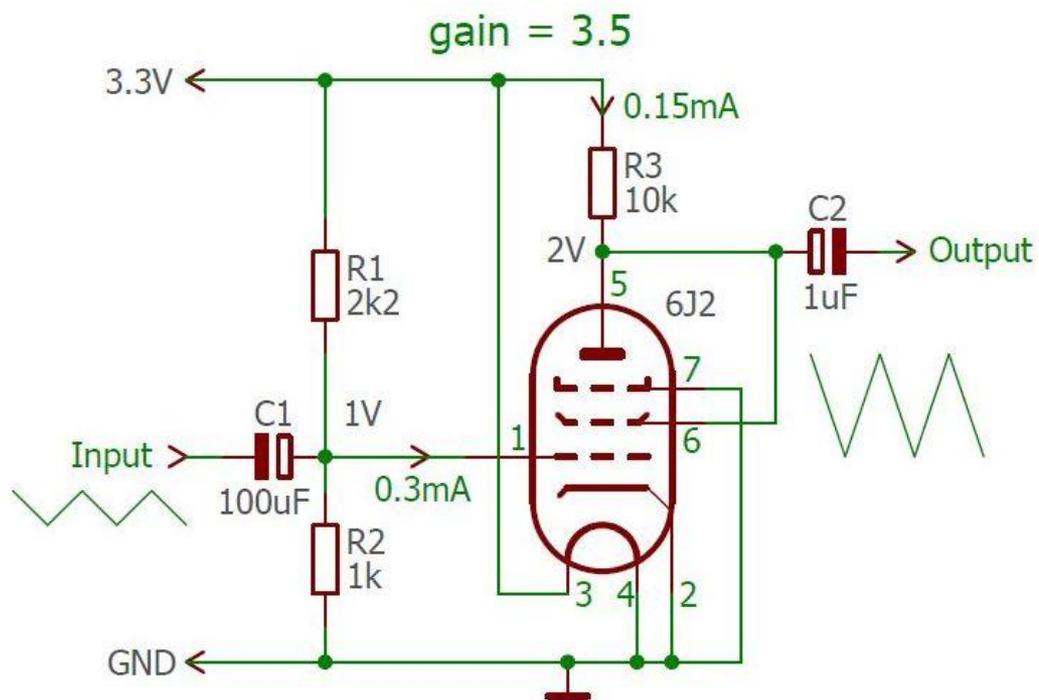
## Тетрод и пентод

В более сложных электронных лампах может быть не одна, а несколько сеток. Например в тетроде - две, а в пентоде - три.



Сеточное поле оказывает большее влияние на электронный поток, чем анодное поле, так как расстояние между промежуточной сеткой - катодом меньше, чем расстояние между катодом и анодом.

# Усилитель на основе пентода



6J2 vacuum tube preamp running at 3.3V totally

# Звуковые усилители McIntosh класса High-End

[Home](#) / [New Products](#) / [MA12000](#)



## MA12000

2-Channel Hybrid Integrated Amplifier

- Hybrid design: vacuum tube preamp and solid state power amp
- 350 Watts x 2 channel
- 8-band tone control
- 17 Inputs (10 analog + 7 digital)
- Comes with DA2 Digital Audio Module installed

[FIND A DEALER](#)

[ELIGIBLE FOR ONLINE PURCHASE?](#)

[3 Year Limited Warranty](#)

[ADD TO WISHLIST](#)



<https://www.mcintoshlabs.com/>

# Газоразрядные электронные приборы

Газоразрядными принято называть электровакуумные приборы, в которых используется явление электронного разряда в газе или парах.

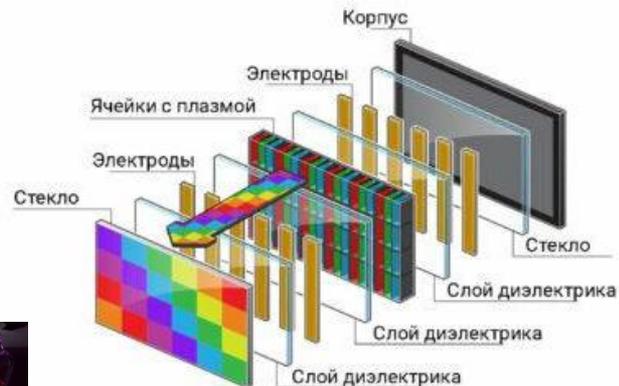
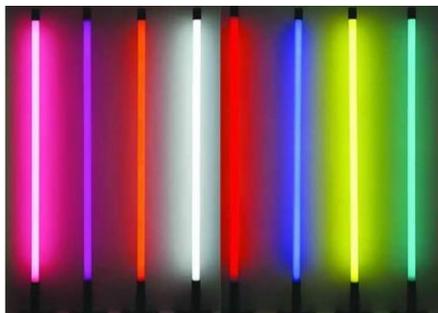
Газы (в том числе и воздух) при нормальных условиях не проводят электрический ток.

Условия возникновения тока в газах:

- высокая температура
- разность потенциалов
- облучение (рентген)

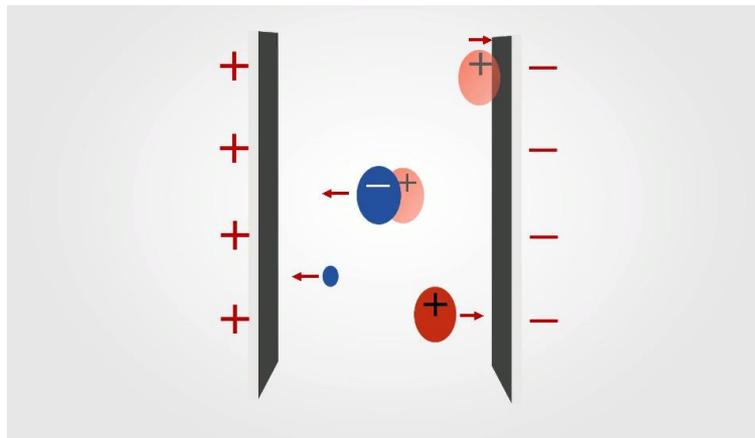


# Применение газоразрядных ЛАМП



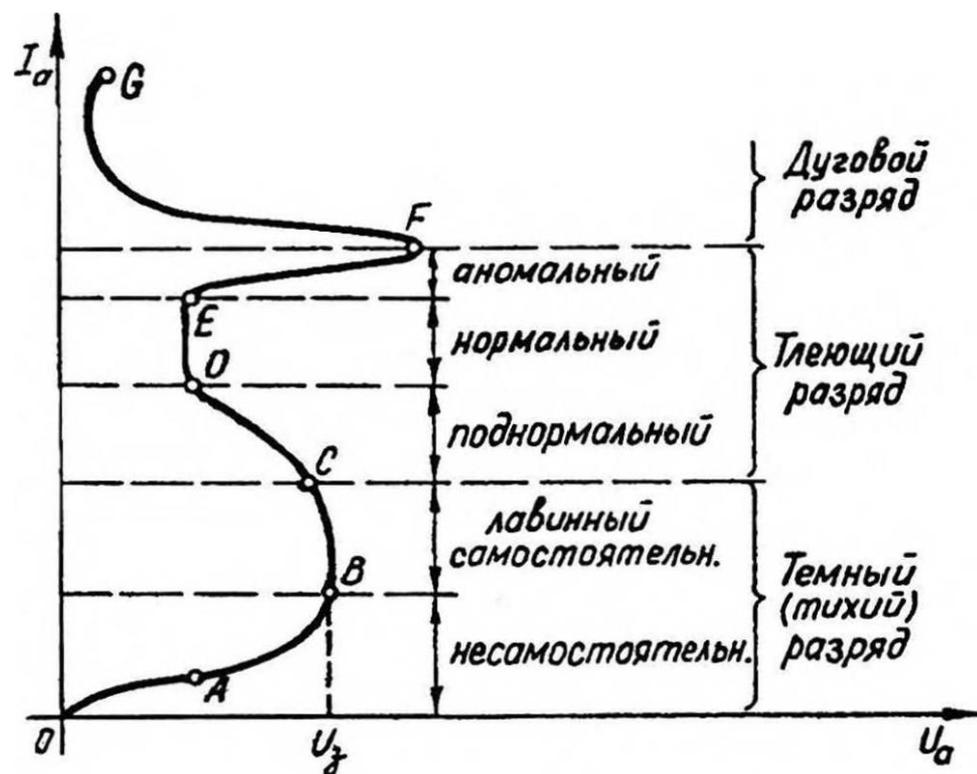
# Газоразрядные электронные приборы

Если поместить ионизированный газ в электрическое поле, между двумя электродами анодом и катодом, то появившиеся в результате ионизации электроны и положительные ионы под действием электрического поля начинают перемещаться: отрицательно заряженные электроны к аноду, положительные ионы к катоду.



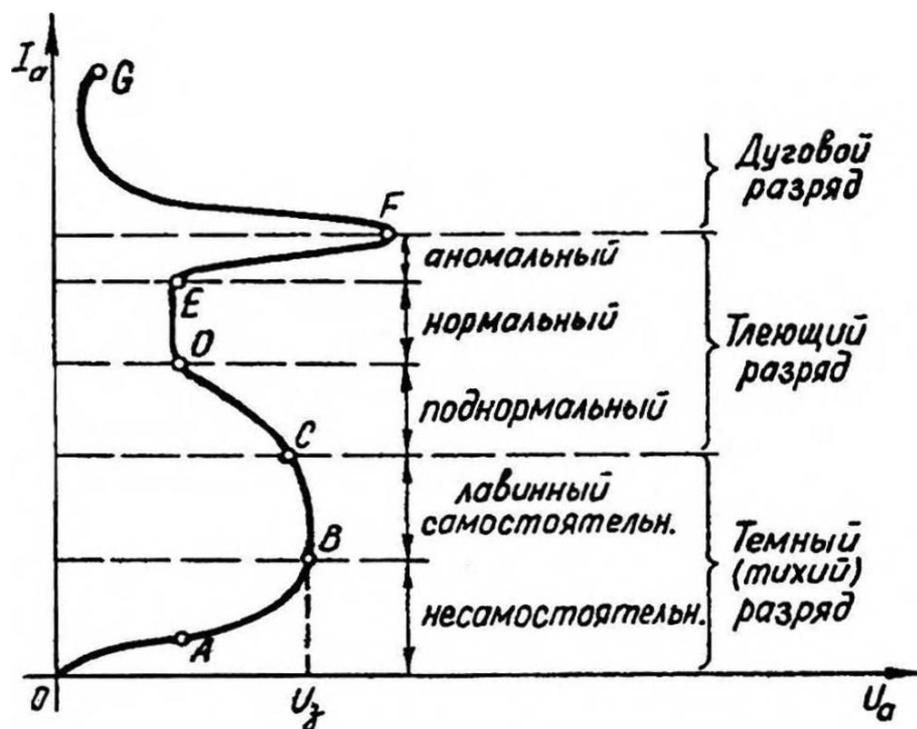
# ВАХ газоразрядной лампы

На участке  $OA$  происходит ионизация газа и эмиссия электрона. Образующиеся при этом положительные ионы, падая на катод, выбивают вторичные электроны — ток возрастает на участке  $AB$ . В точке  $B$  несамостоятельный разряд переходит в самостоятельный.



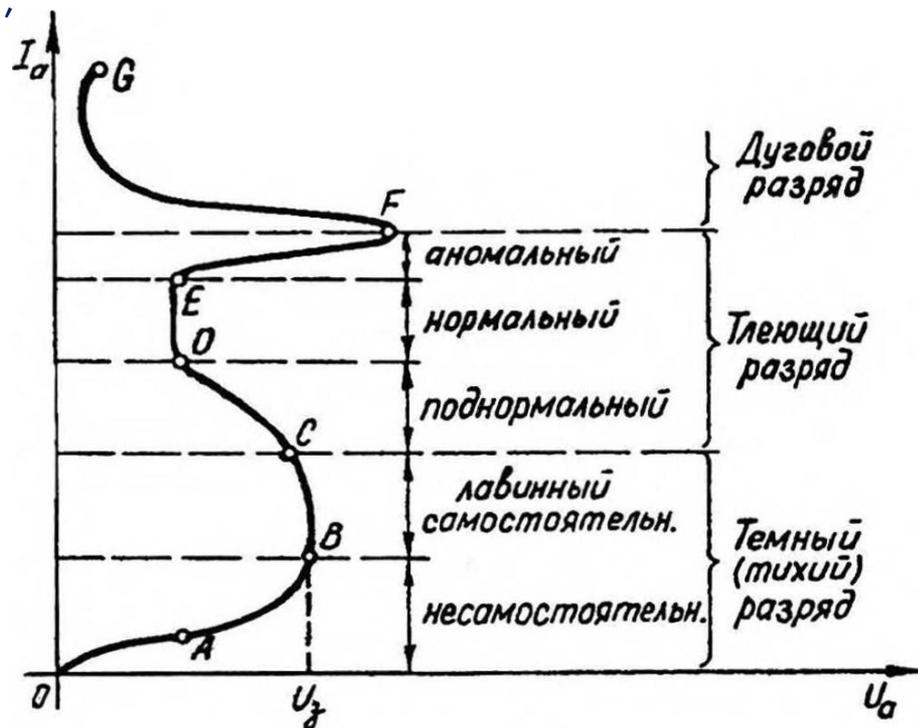
# ВАХ газоразрядной лампы

На участке **BC** рост тока сопровождается уменьшением напряжения за счет возникновения пространственного положительного заряда у катода. В **точке С** лавинный самостоятельный разряд переходит в поднормальный тлеющий, характеризующийся локализацией области разряда и уменьшением рабочей (светящейся) поверхности катода - происходит «шнурование» разряда. Возрастает плотность тока.



# ВАХ газоразрядной лампы

В точке **D** плотность тока принимает нормальное значение, при котором напряжение на приборе минимально, при этом разряд носит название **нормального тлеющего**. Разряд на участке **EF** называется **аномальным тлеющим**. Все формы тлеющего разряда сопровождаются **свечением вблизи катода**. Дальнейшее увеличение тока приводит к дополнительной эмиссии с катода. В результате напряжение на приборе уменьшается, разряд переходит в **дуговой** в участке **FG**.



## Виды разрядов

При **самостоятельном разряде** для прохождения тока через газ не требуется какого-либо внешнего источника энергии, обеспечивающего ионизацию атомов газа.

При **несамостоятельном разряде** для создания и поддержания тока необходимо иметь какой-либо внешний ионизатор, например, нагреватель для подогрева катода.

# Применение газовых разрядов

## Нормальный тлеющий разряд:

- стабилитроны (получение высокого стабильного опорного напряжения)
- газоразрядные индикаторы.

## Самостоятельный дуговой разряд:

- ртутные вентили (выпрямление тока)
- тиратроны, газотроны, таситроны (выпрямление тока)
- Осветительные приборы (люминесцентные и газосветные; наполнение – неон, ксенон, аргон, натрий, ртуть)