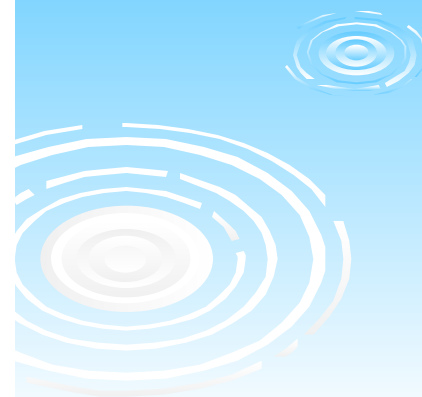
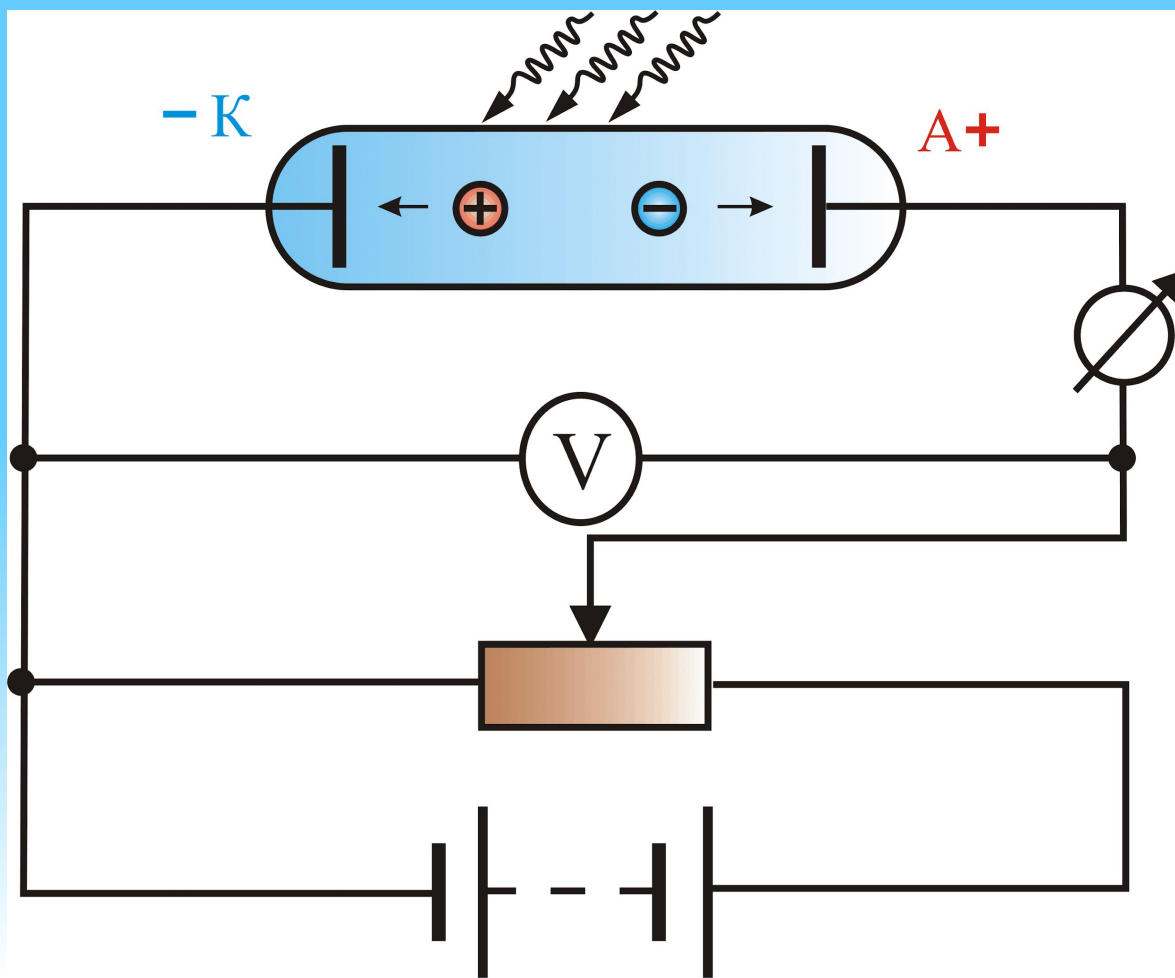
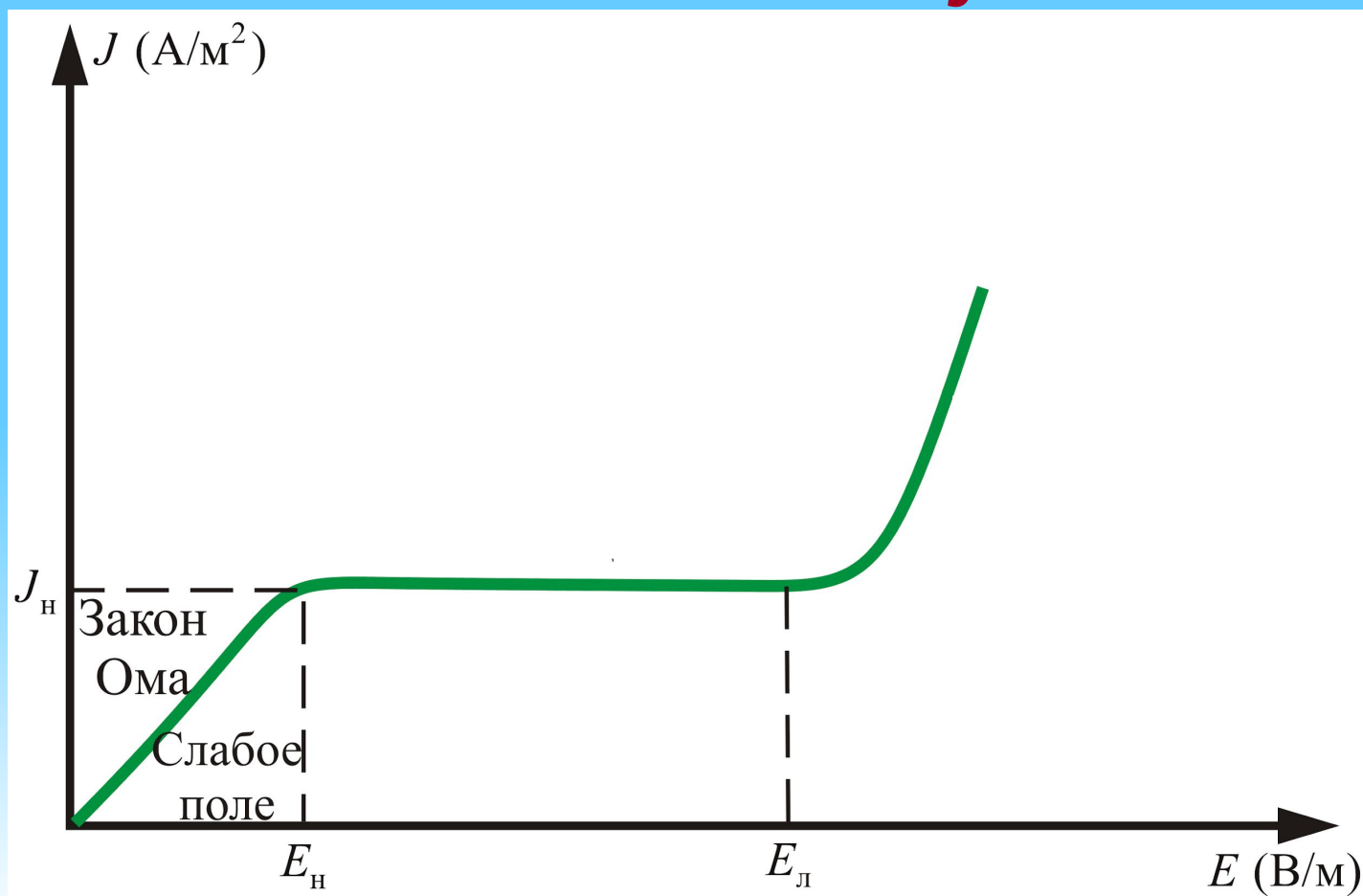


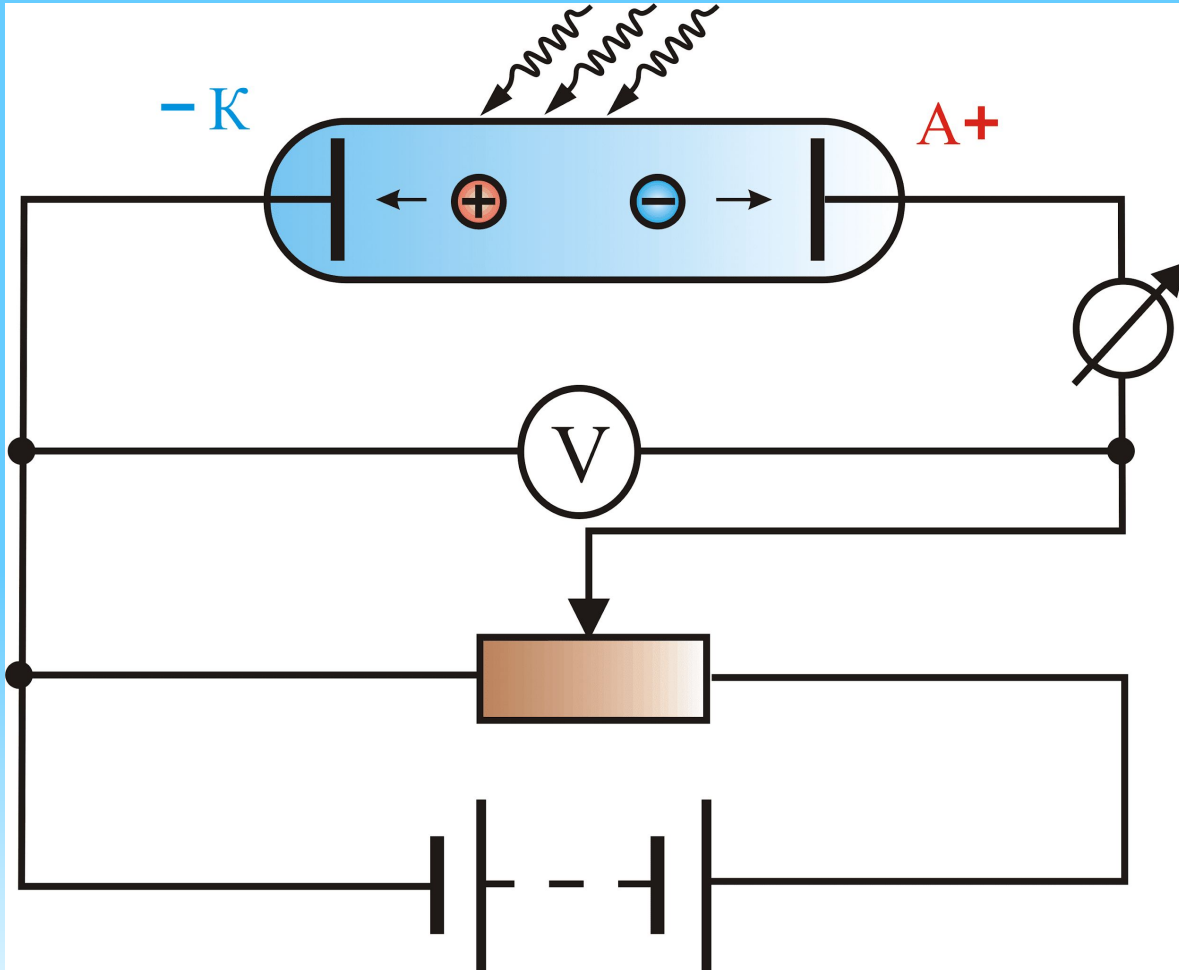
# НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

*Несамостоятельным газовым разрядом называется такой разряд, который, возникнув при наличии электрического поля, может существовать только под действием внешнего ионизатора.*

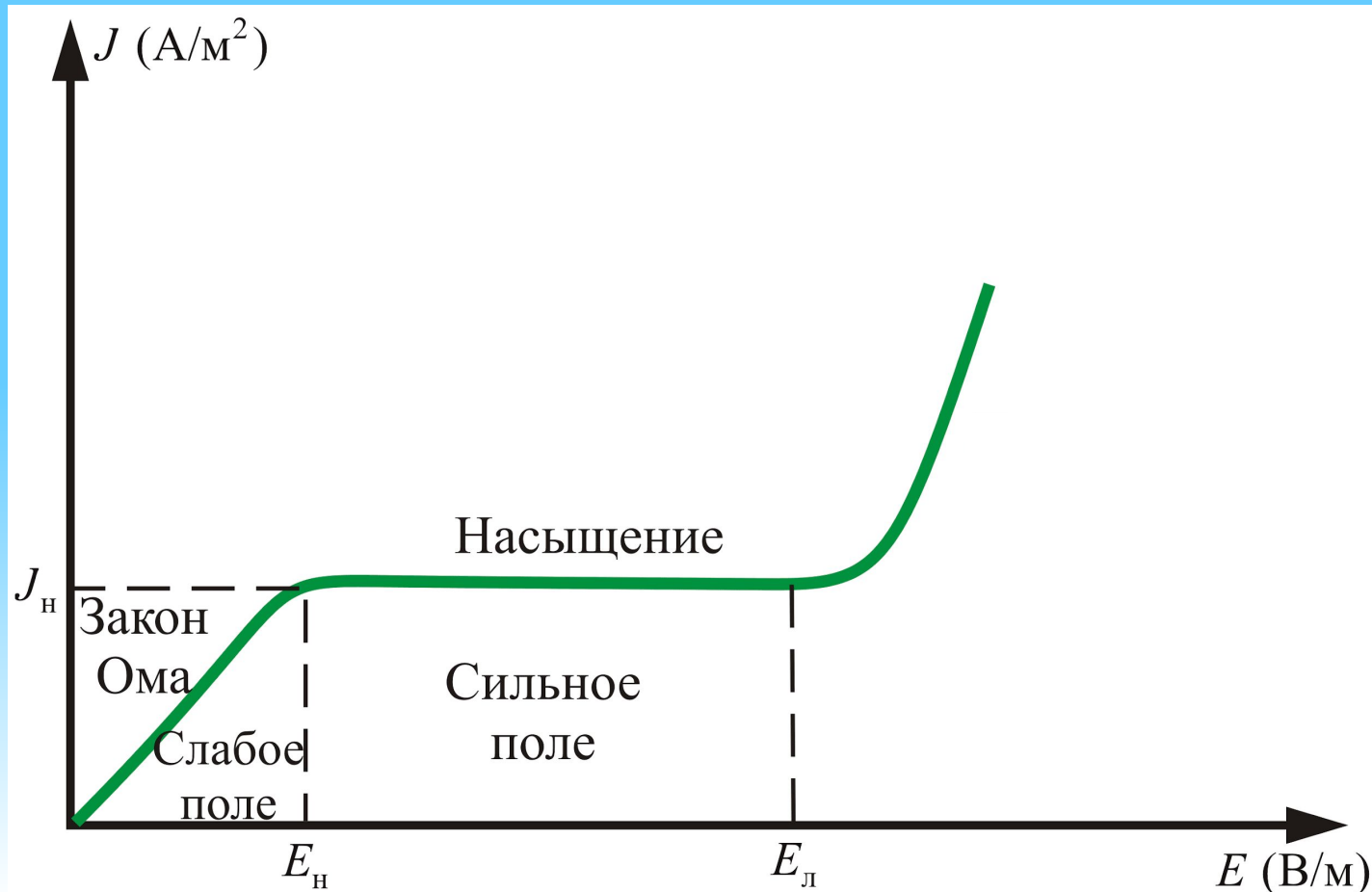


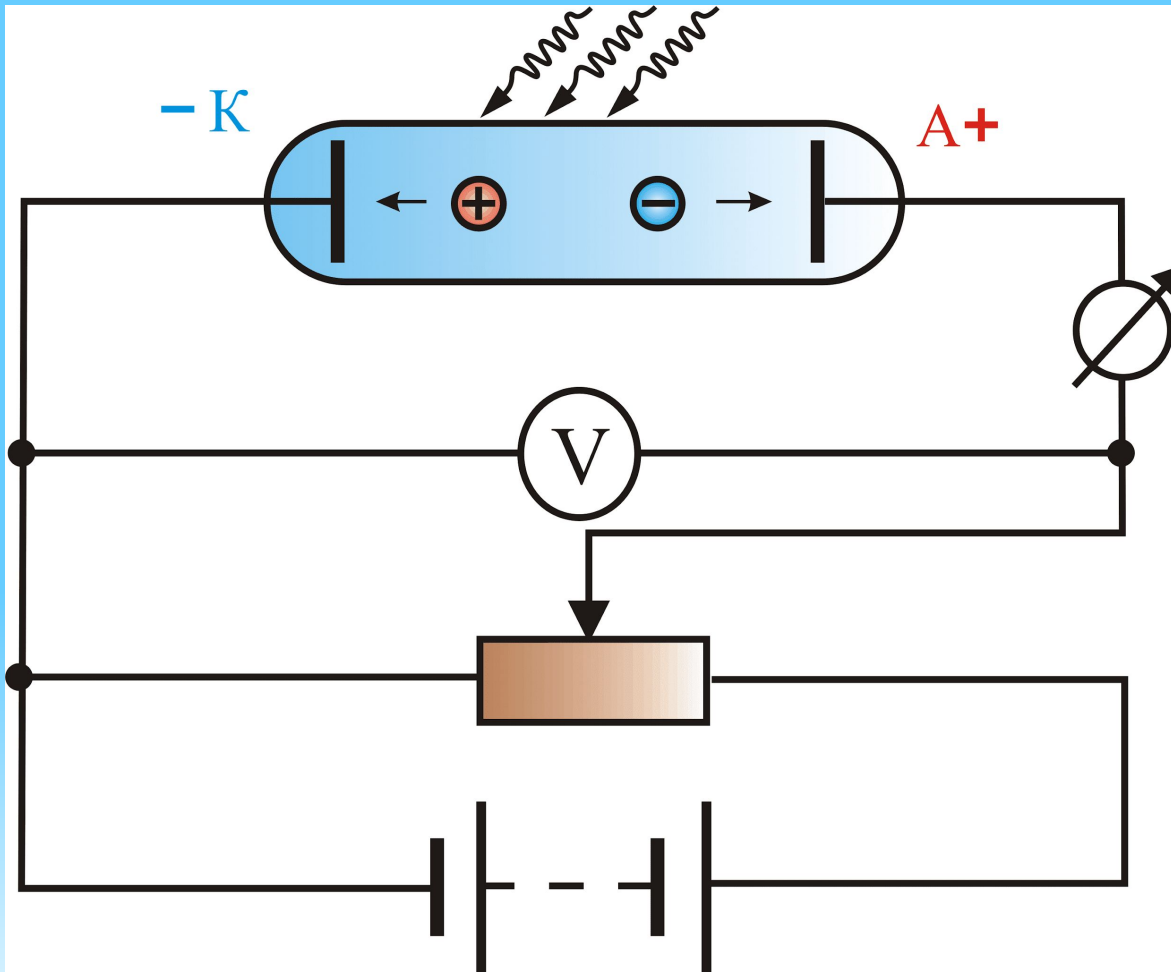
**В случае слабых электрических полей ток при несамостоятельном разряде подчиняется закону Ома.**



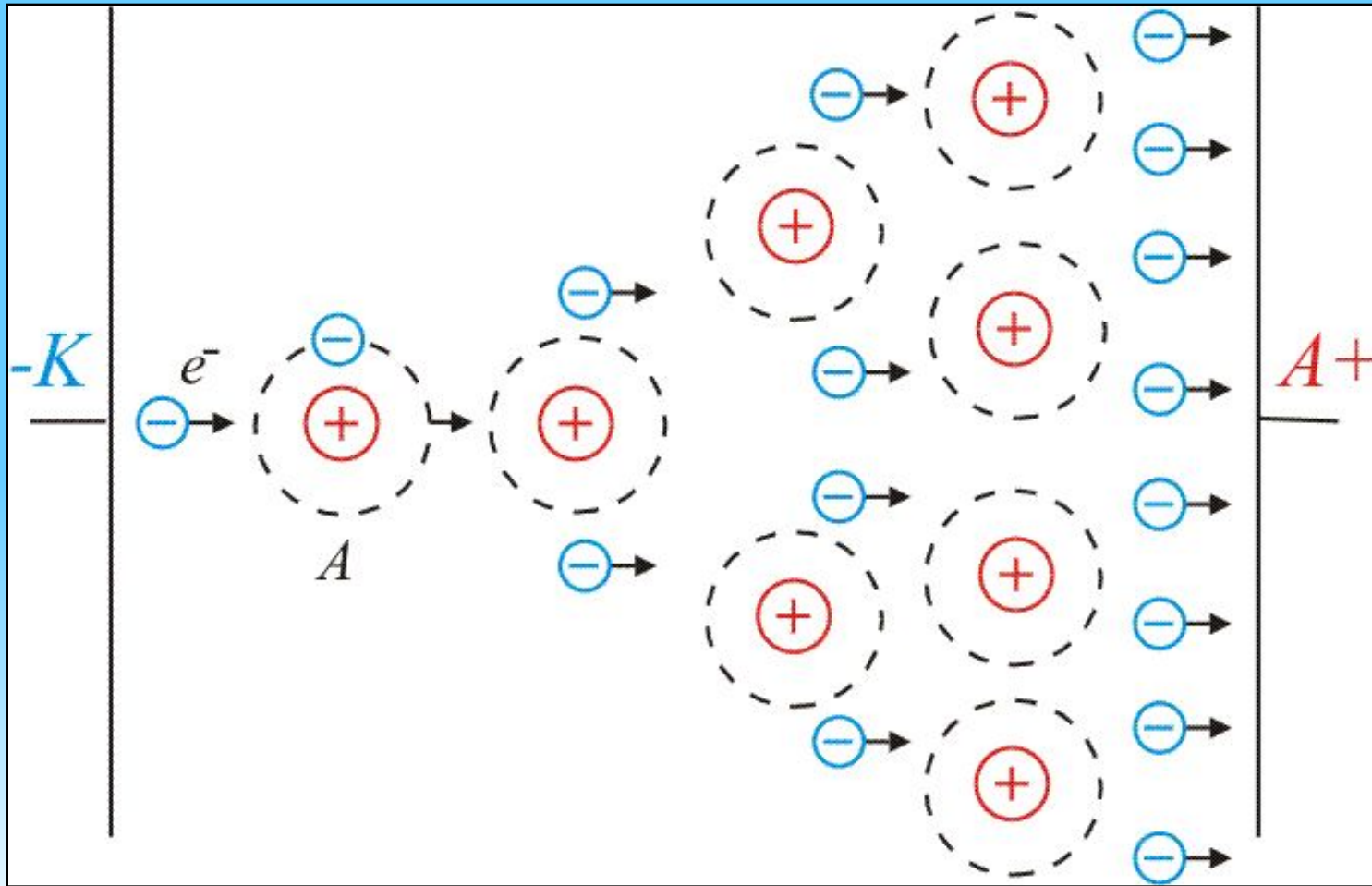


**Максимальное значение тока, при котором все образующиеся ионы уходят к электродам, носит название *тока насыщения*.**

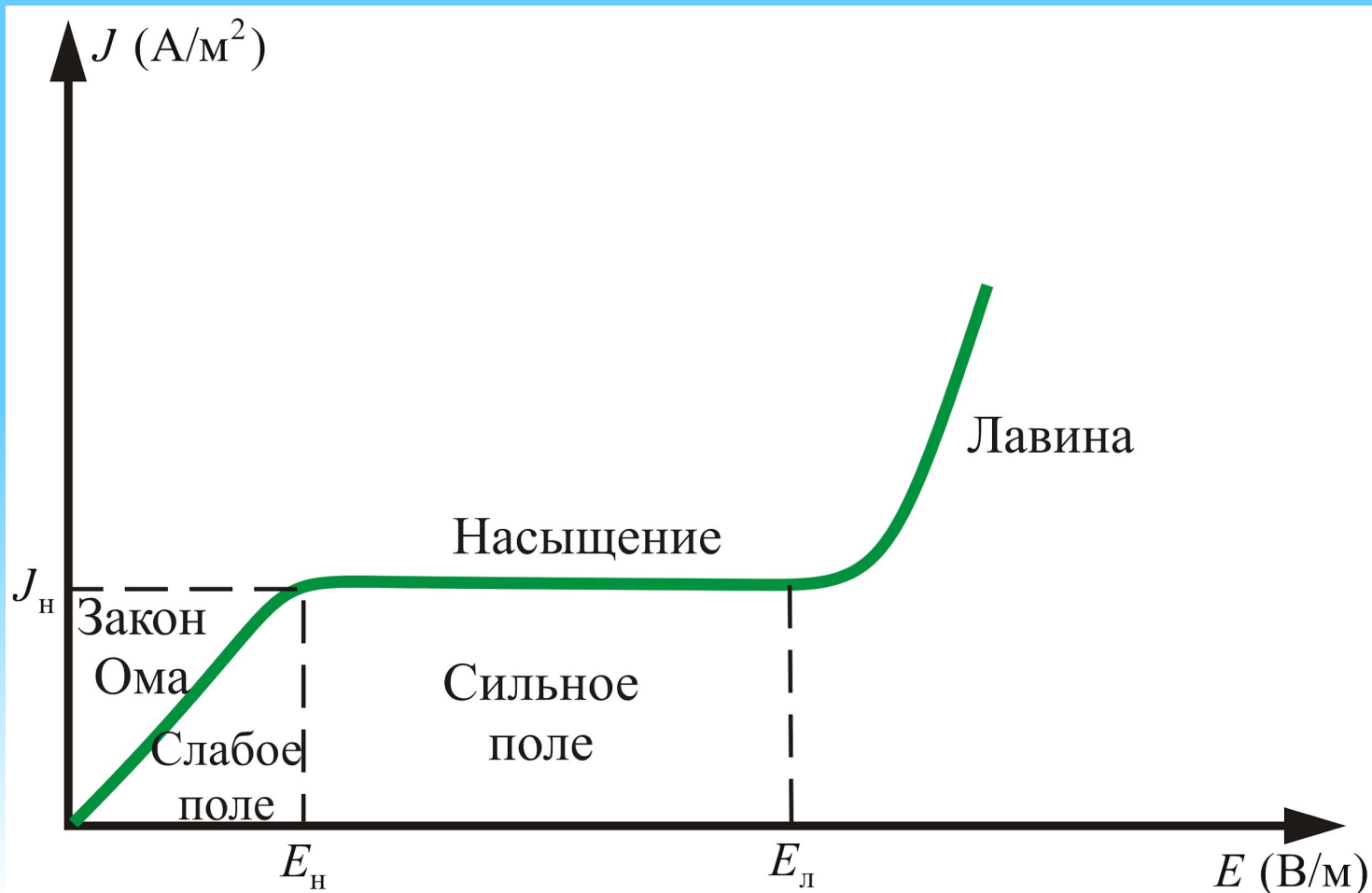




Дальнейшее увеличение напряженности поля  
ведет к образованию **лавины** электронов



Происходит **лавинообразное размножение первичных ионов и электронов**, созданных внешним ионизатором и **усиление разрядного тока.**



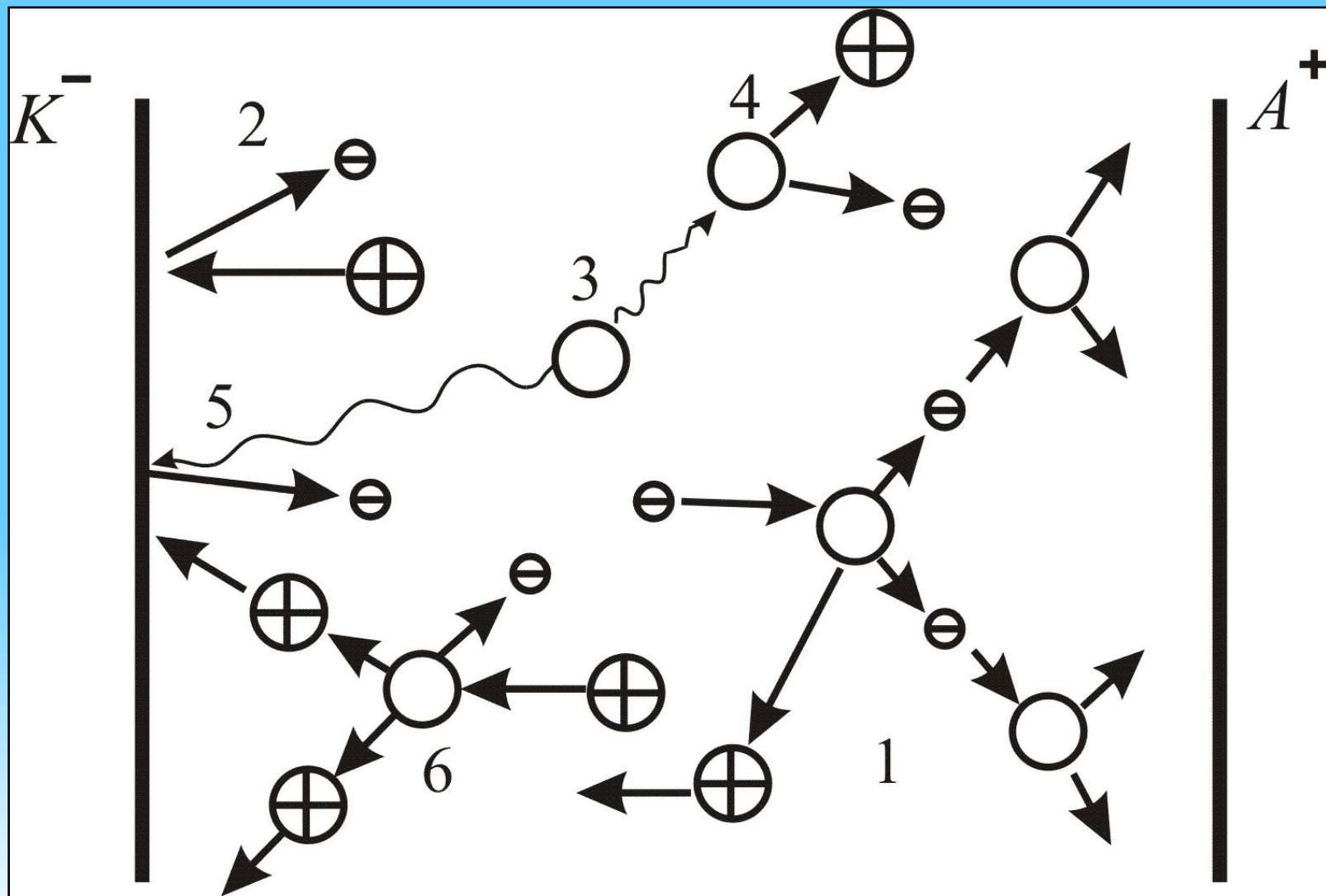
# Самостоятельный газовый разряд

- **Самостоятельным разрядом** будем называть такой газовый разряд, который продолжается и после прекращения действия ионизатора.
- Когда межэлектродный промежуток перекрывается полностью проводящей газоразрядной плазмой, наступает его **пробой**.

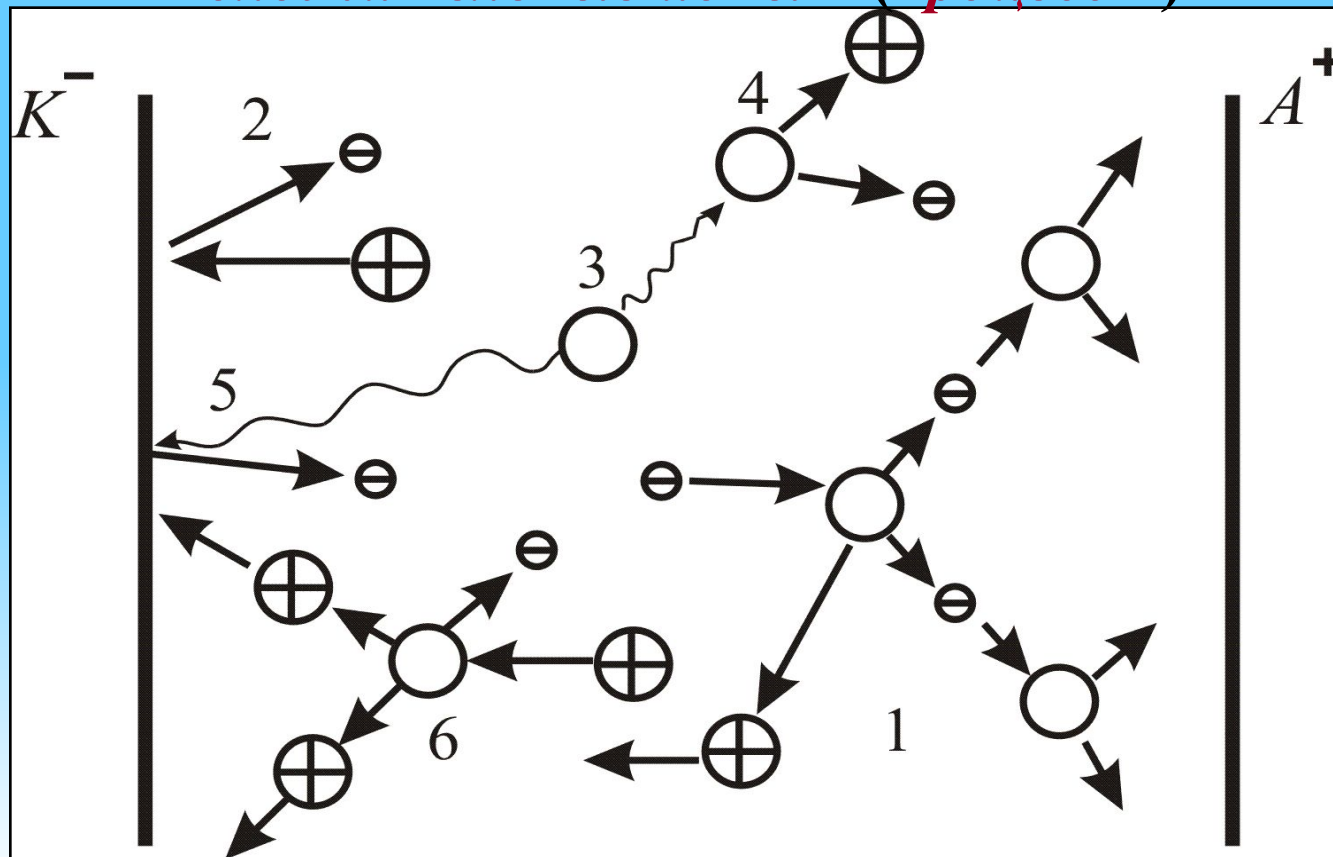




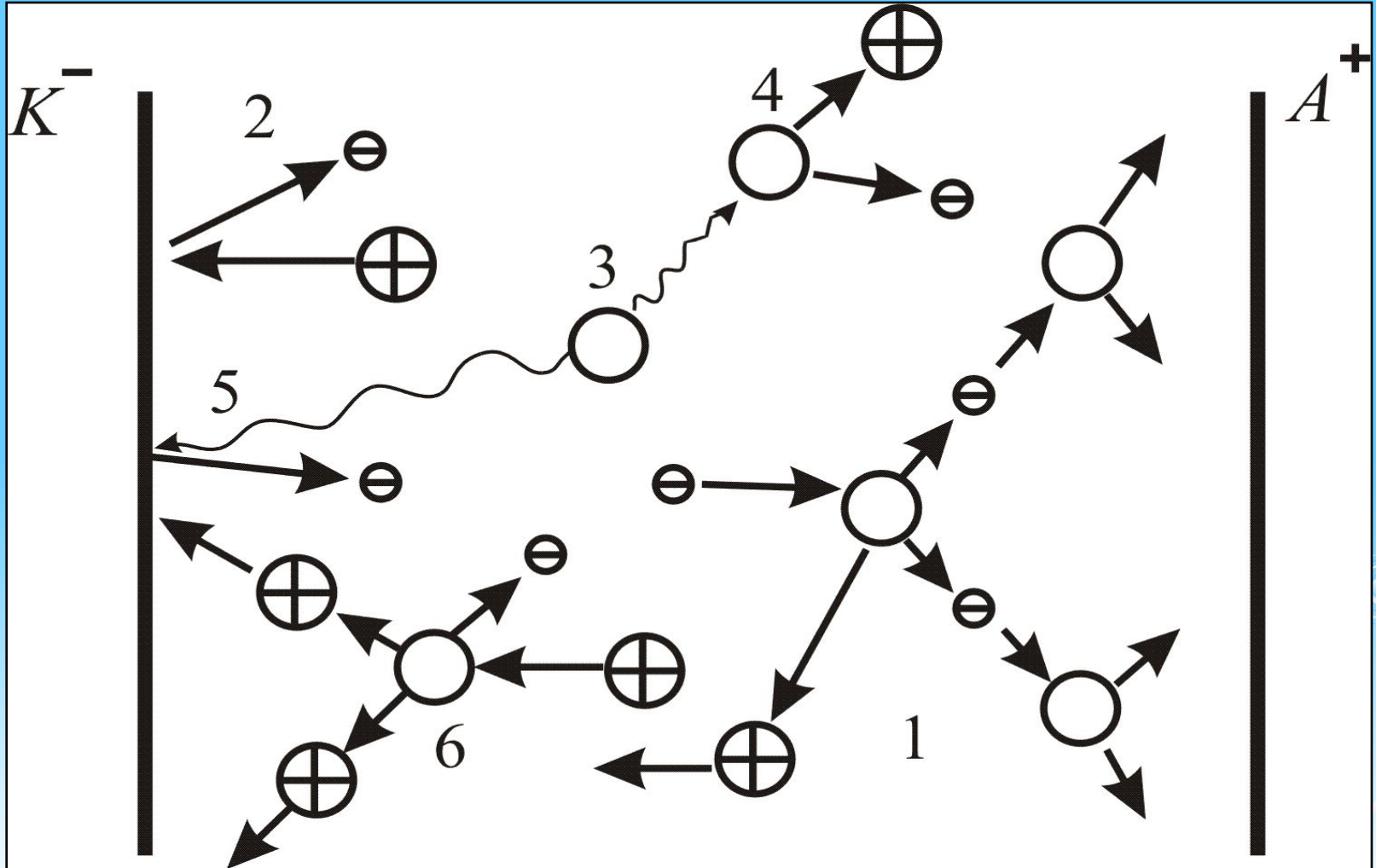
# Условия возникновения и поддержания самостоятельного газового разряда



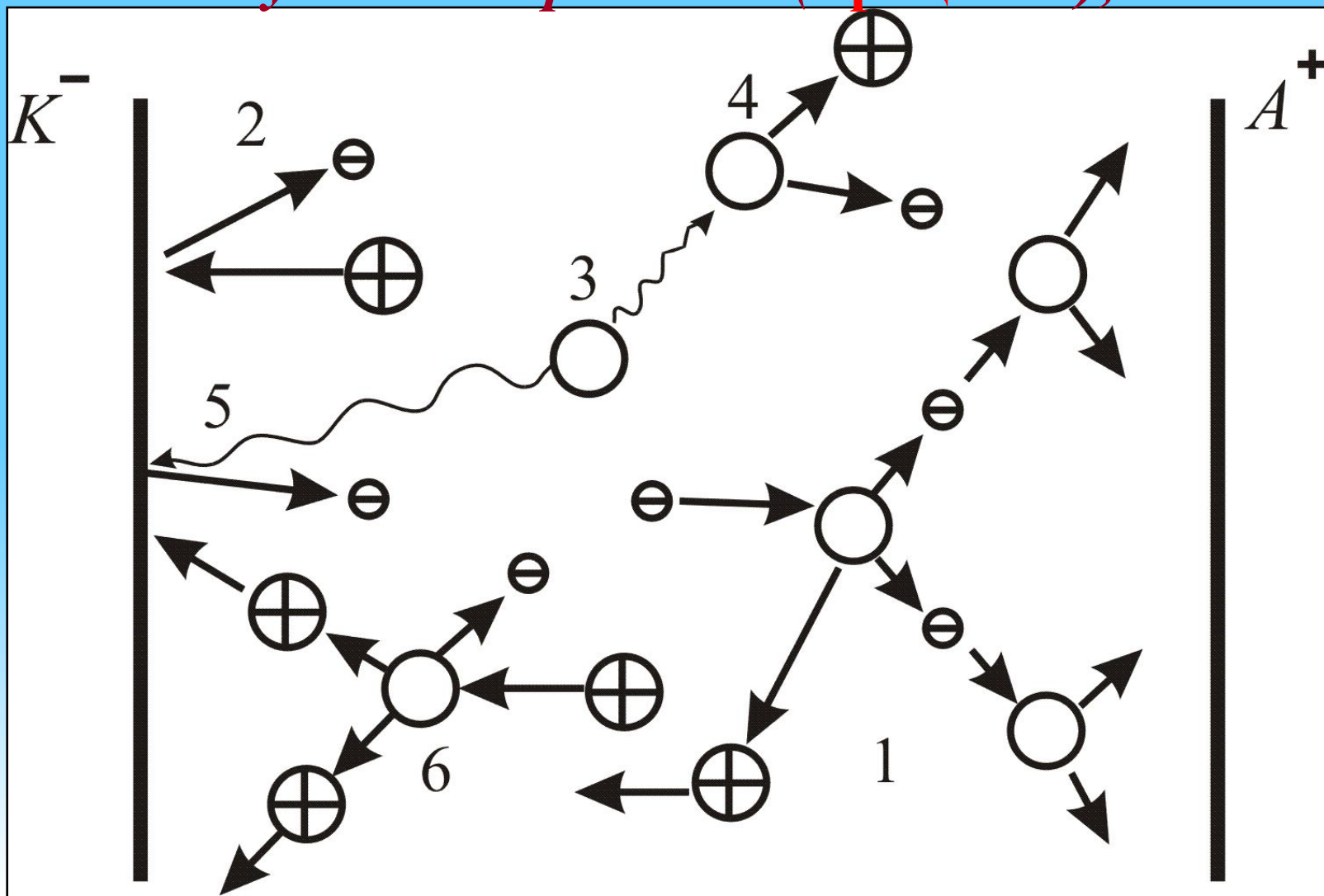
- 1. При больших напряжениях между электродами газового промежутка ***ток сильно возрастает***. Это происходит вследствие того, что возникающие под действием внешнего ионизатора ***электроны, сильно ускоренные электрическим полем, сталкиваются с нейтральными молекулами газа и ионизируют их***. В результате этого образуются ***вторичные электроны и положительные ионы (процесс 1)***



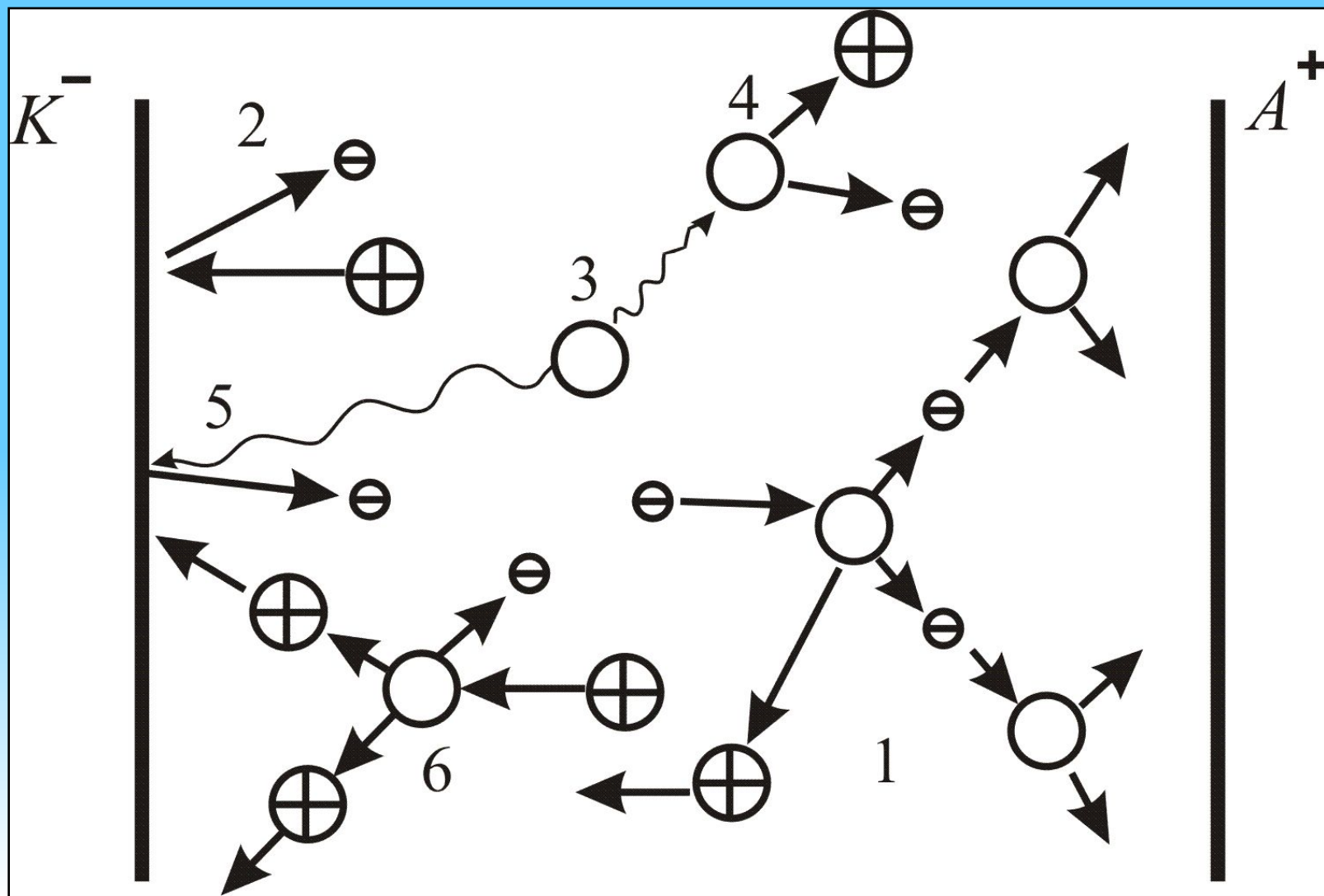
- 2. Ускоренные электрическим полем **положительные ионы, ударяясь о катод, выбивают из него электроны (процесс 2);**



- **3.** Положительные ионы, сталкиваясь с молекулами газа, переводят их в возбужденное состояние; *переход таких молекул в основное состояние сопровождается испусканием фотонов (процесс 3);*

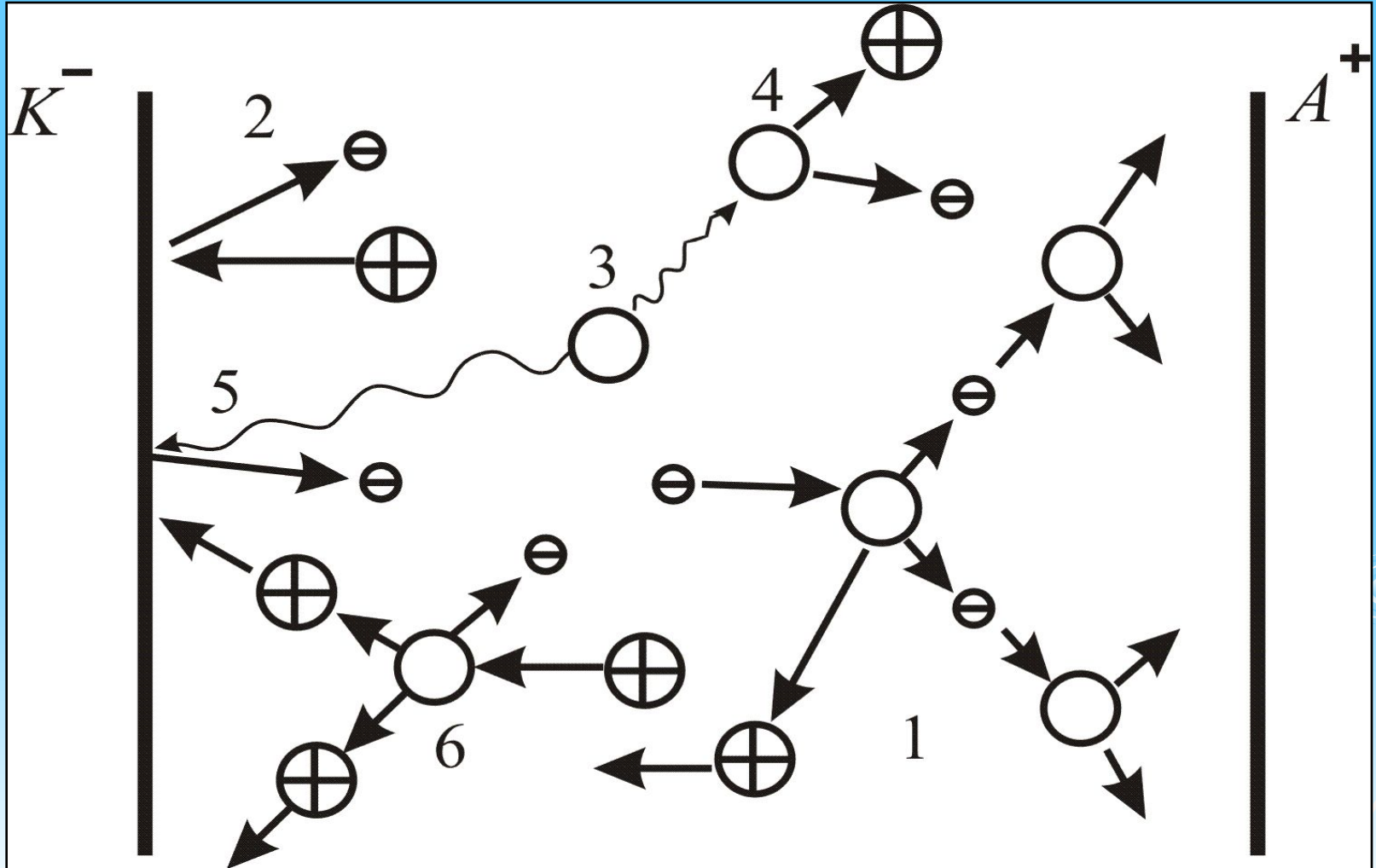


• 4. Фотон, поглощенный нейтральной молекулой, ионизирует ее, происходит процесс фотонной ионизации молекул (процесс 4);

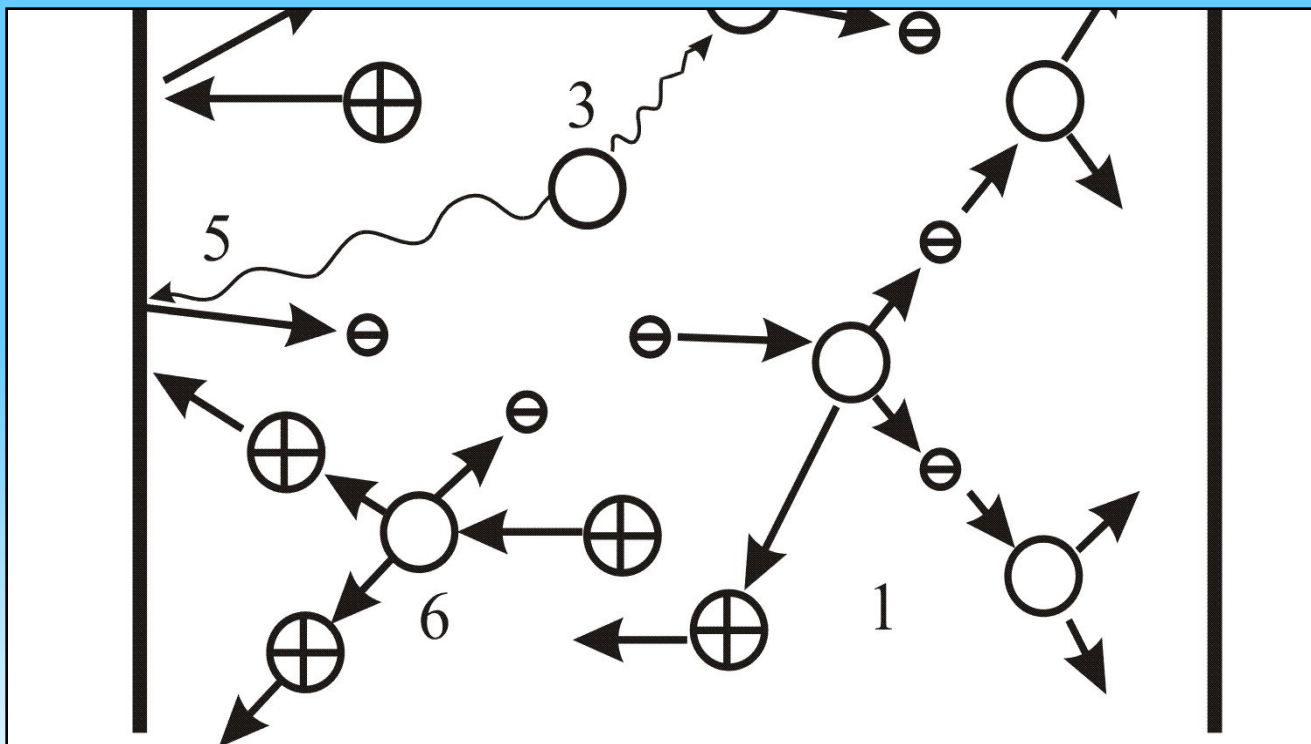




- **5. Выбивание электронов из катода под действием фотонов (процесс 5);**



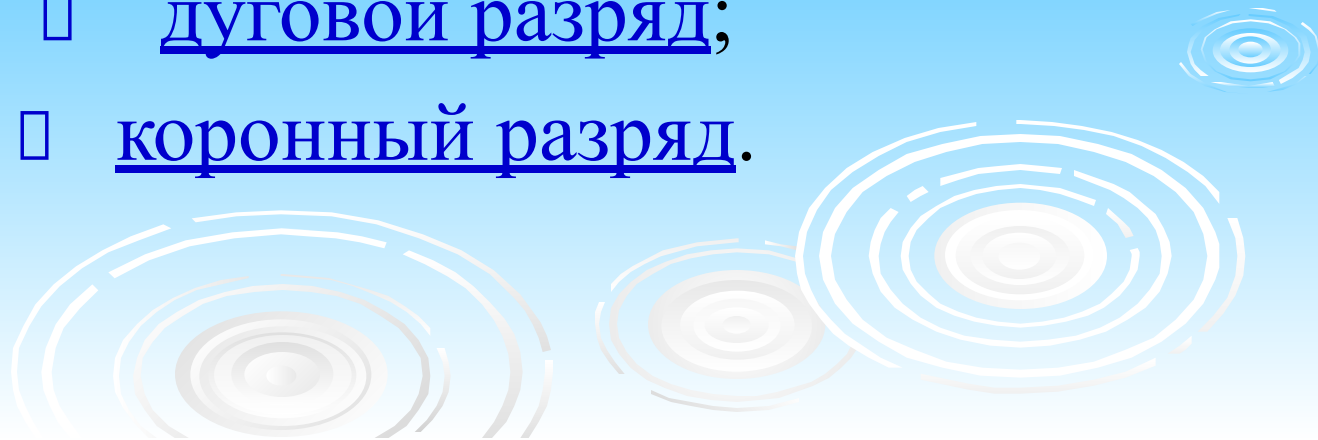
- 6. Наконец, при значительных напряжениях между электродами газового промежутка наступает момент, когда *положительные ионы, обладающие меньшей длиной свободного пробега, чем электроны, приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа (процесс б), и к отрицательной пластине устремляются ионные лавины.*
- Когда возникают, кроме электронных лавин, еще и ионные, сила тока растет уже практически без увеличения напряжения.



## 8.4. Типы разрядов

В зависимости от давления газа, конфигурации электродов и параметров внешней цепи существует четыре типа самостоятельных разрядов:

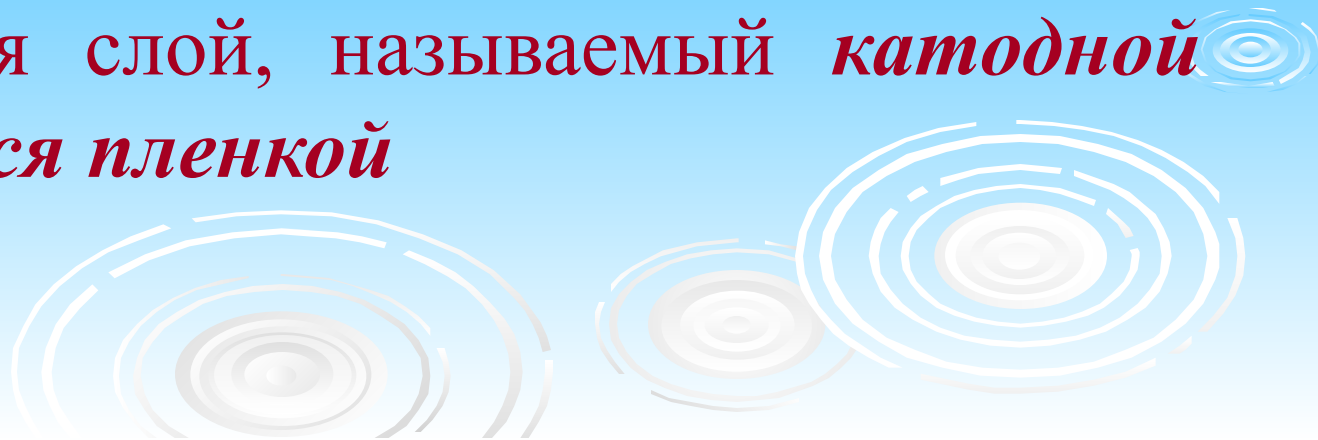
- тлеющий разряд;
- искровой разряд;
- дуговой разряд;
- коронный разряд.



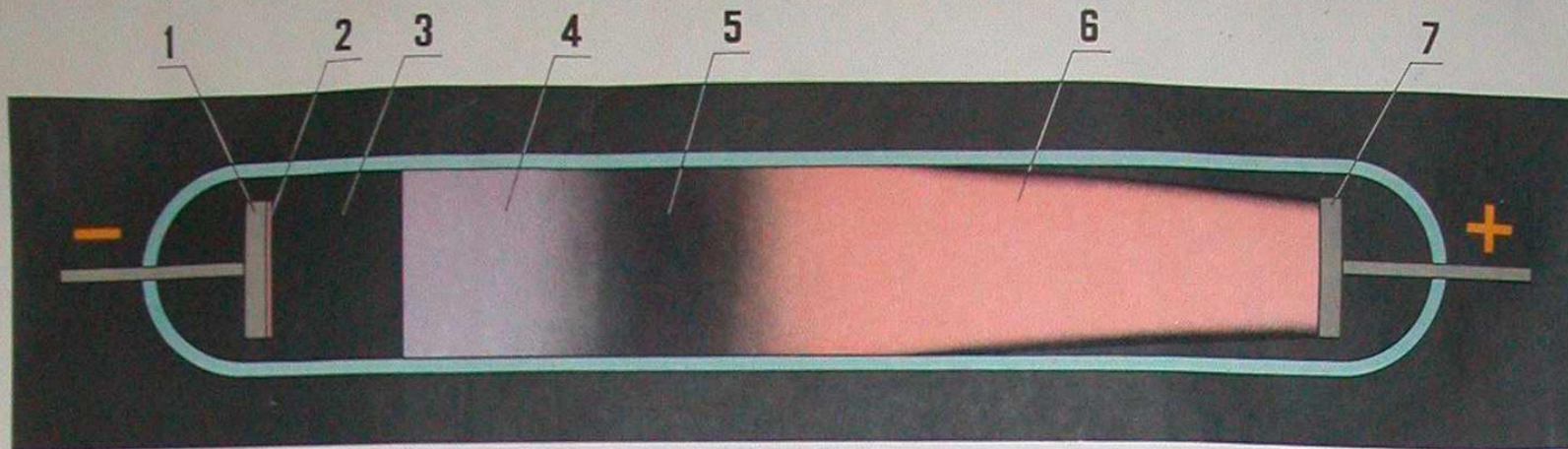


# Тлеющий разряд

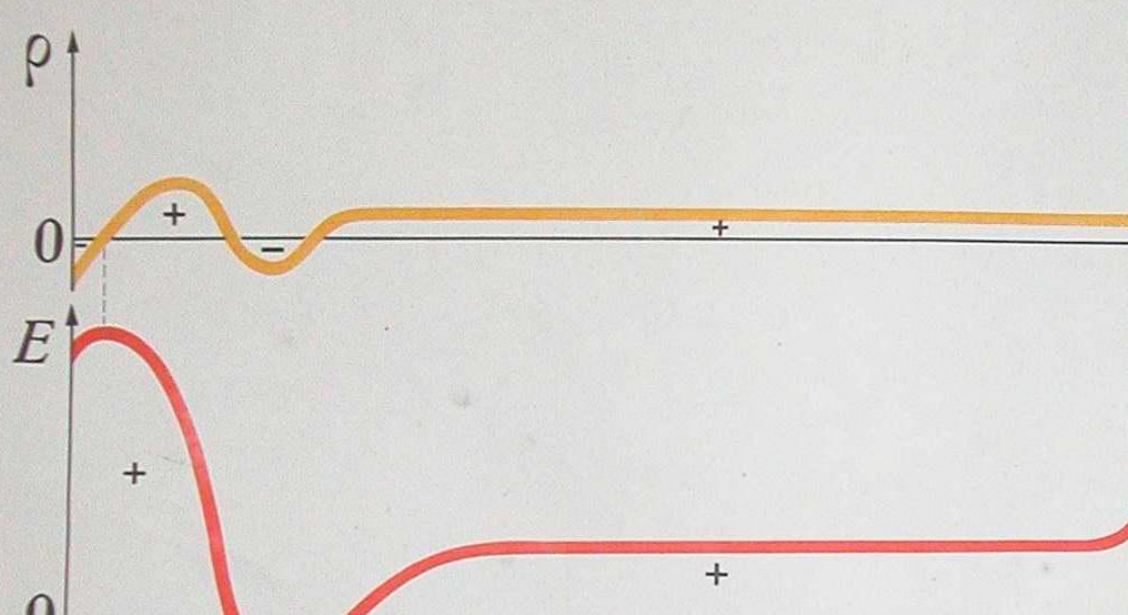
- Тлеющий разряд возникает при низких давлениях (в вакуумных трубках).
- Его можно наблюдать в стеклянной трубке с впаянными у концов плоскими металлическими электродами.
- Вблизи катода располагается тонкий светящийся слой, называемый *катодной светящейся пленкой*



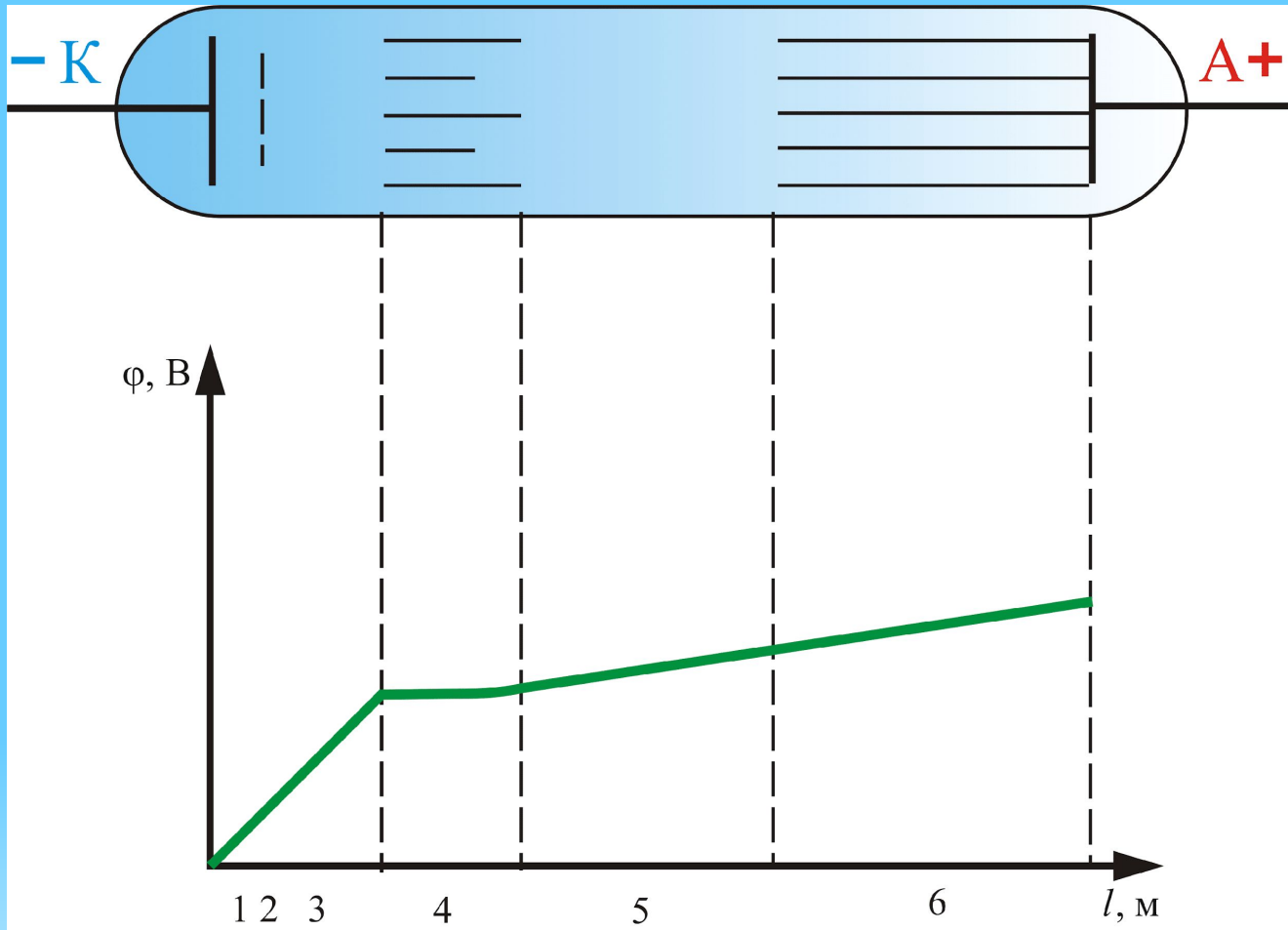
# ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД



КАТОДНАЯ ТРУБКА



# Тлеющий разряд

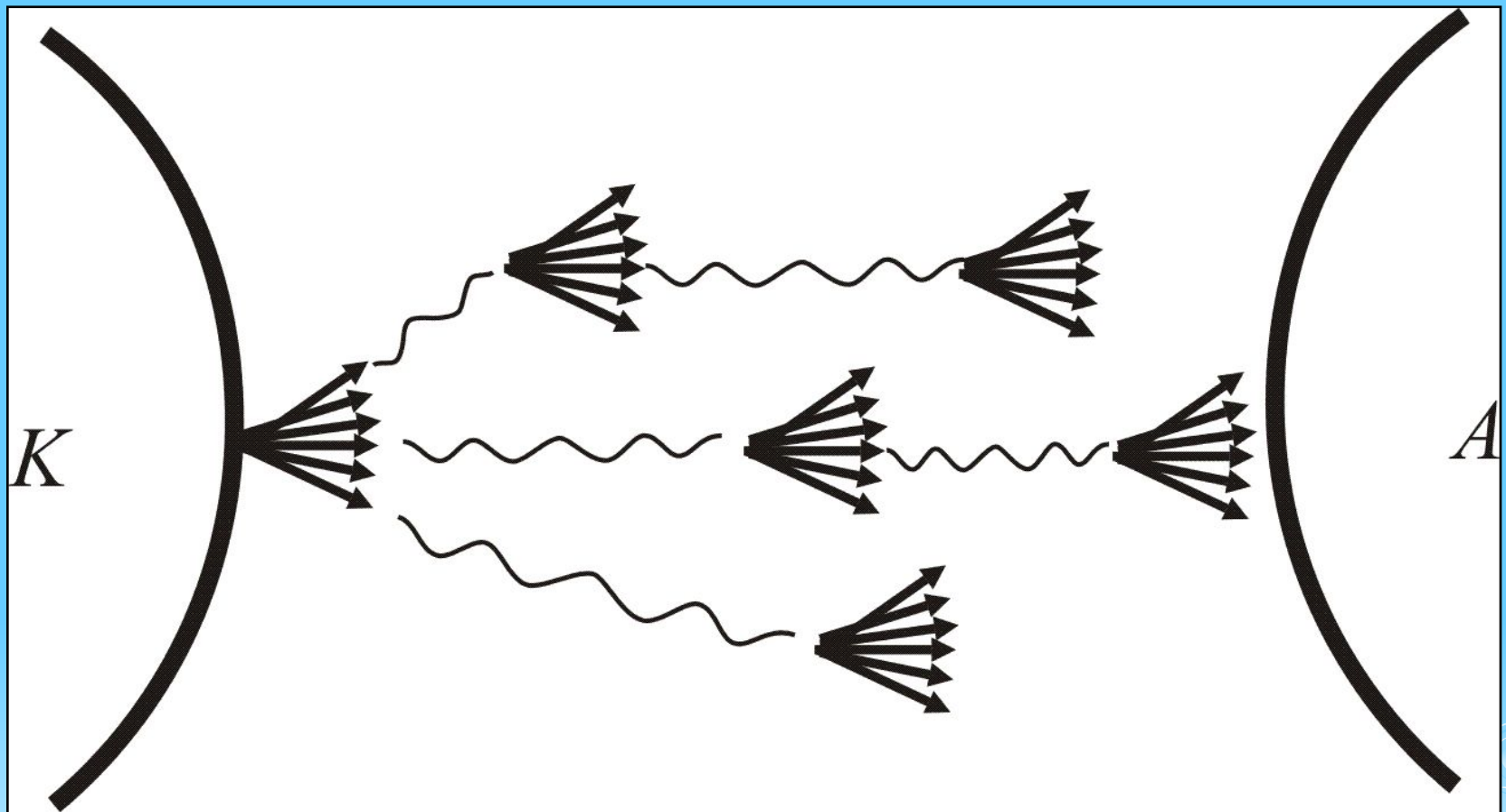


1. Астоново темное пространство; 2. Катодная светящаяся пленка; 3. Катодное темное пространство; 4. Тлеющее свечение; 5. Фарадеево темное пространство; 6. Положительный столб.

# Искровой разряд

- Искровой разряд возникает в газе обычно при давлениях порядка атмосферного  $P_{ат}$ .
- Он характеризуется прерывистой формой.
- По внешнему виду искровой разряд представляет собой пучок ярких зигзагообразных разветвляющихся тонких полос, мгновенно пронизывающих разрядный промежуток, быстро гаснущих и постоянно сменяющих друг друга.
- Эти полосы называют **искровыми каналами.**

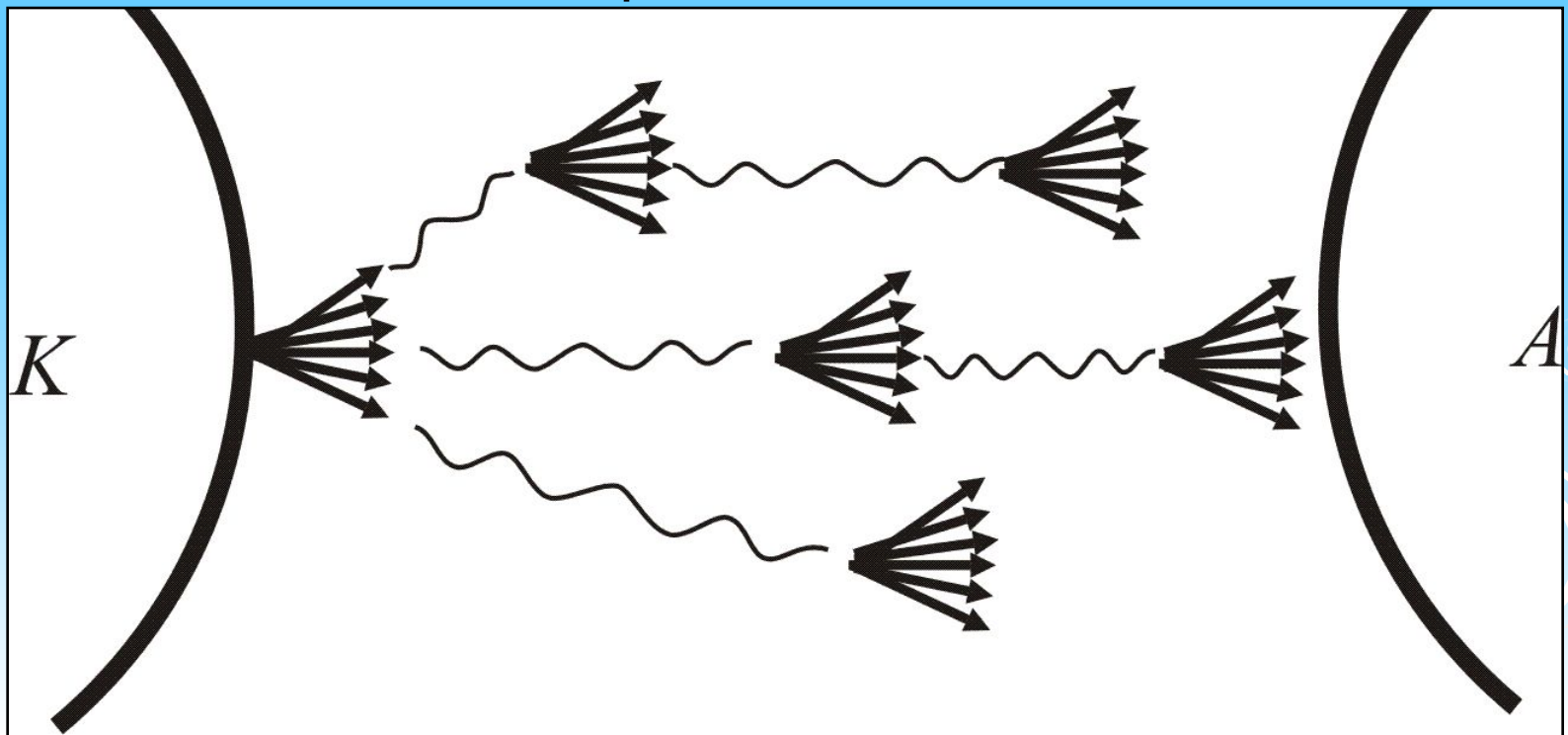
# Искровой разряд



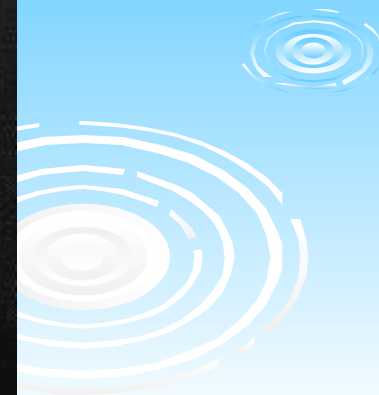
$$P_{ат} \\ T_{газа} = 10000 K; \Phi_{канала} \sim 40 \text{ см}; I = 100 \text{ кА}; t = 10^{-4} \text{ с}$$



- После того, как разрядный промежуток «пробит» искровым каналом, сопротивление его становится малым, через канал проходит кратковременный импульс тока большой силы, в течение которого на разрядный промежуток приходится лишь незначительное напряжение. Если мощность источника не очень велика, то после этого импульса тока разряд прекращается. Напряжение между электродами начинает повышаться до прежнего значения, и пробой газа повторяется с образованием нового искрового канала.



- В естественных природных условиях искровой разряд наблюдается в виде **молнии**.
- На рисунке изображен пример **искрового разряда** – **молния**, продолжительностью  $0,2 \div 0,3\text{с}$
- силой тока  $10^4 - 10^5\text{ А}$ , длиной 20 км









- *Диаметр канала молнии*
- *равен примерно 1 см,*
- *температура в канале молнии*
- *равна примерно 25 000°C,*
- *продолжительность разряда*
- *составляет доли секунды.*





Ток молнии может достигать 1 млн А, напряженность поля пробоя (10-30) кВ/см





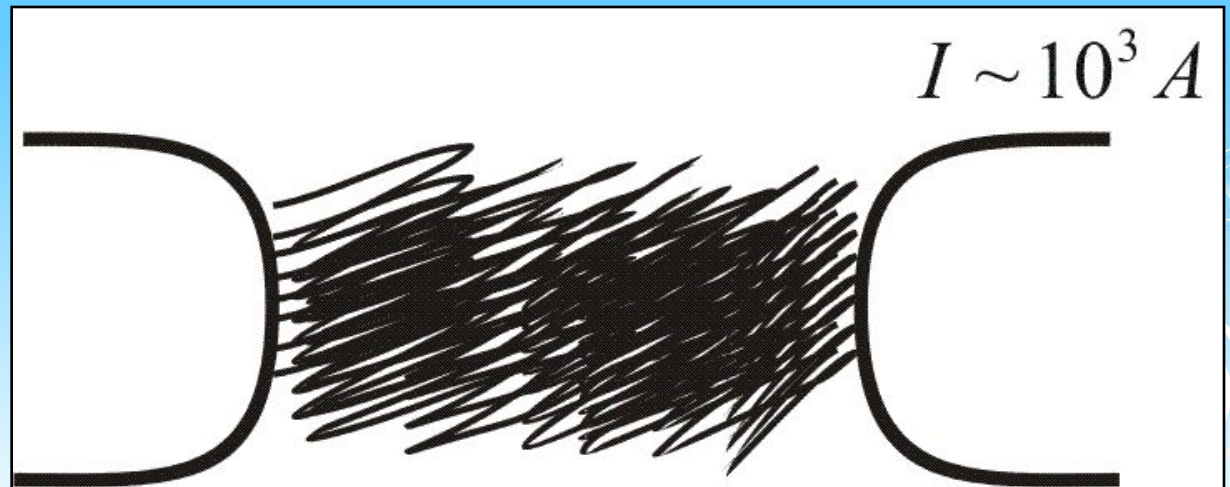
Характерная форма путей разрядов



# Дуговой разряд

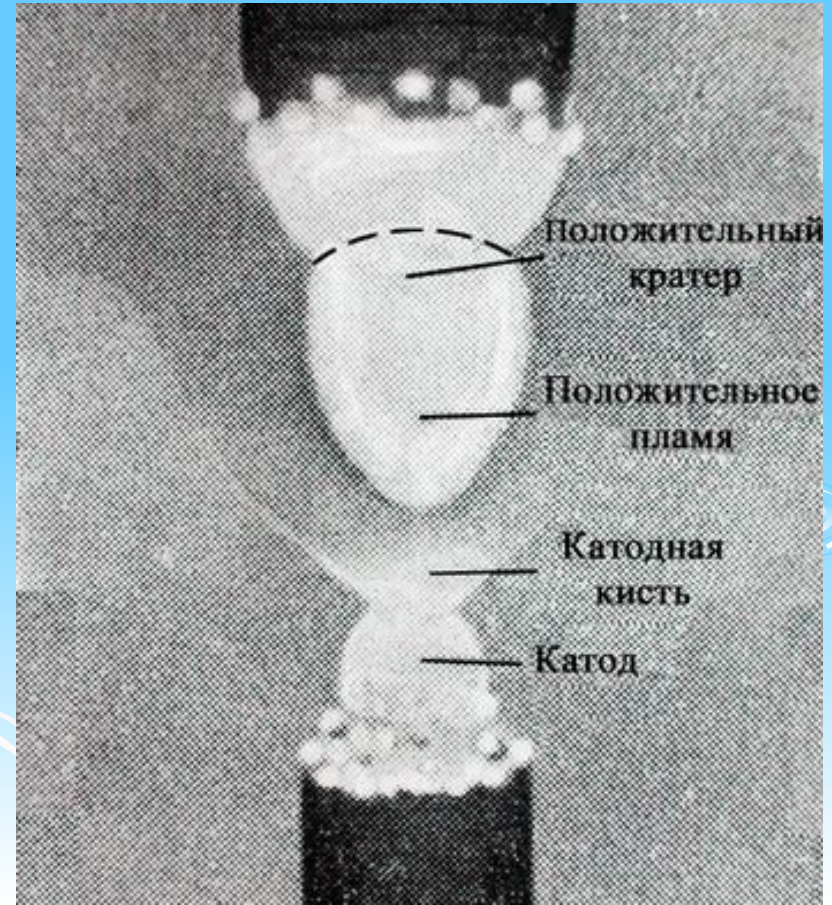
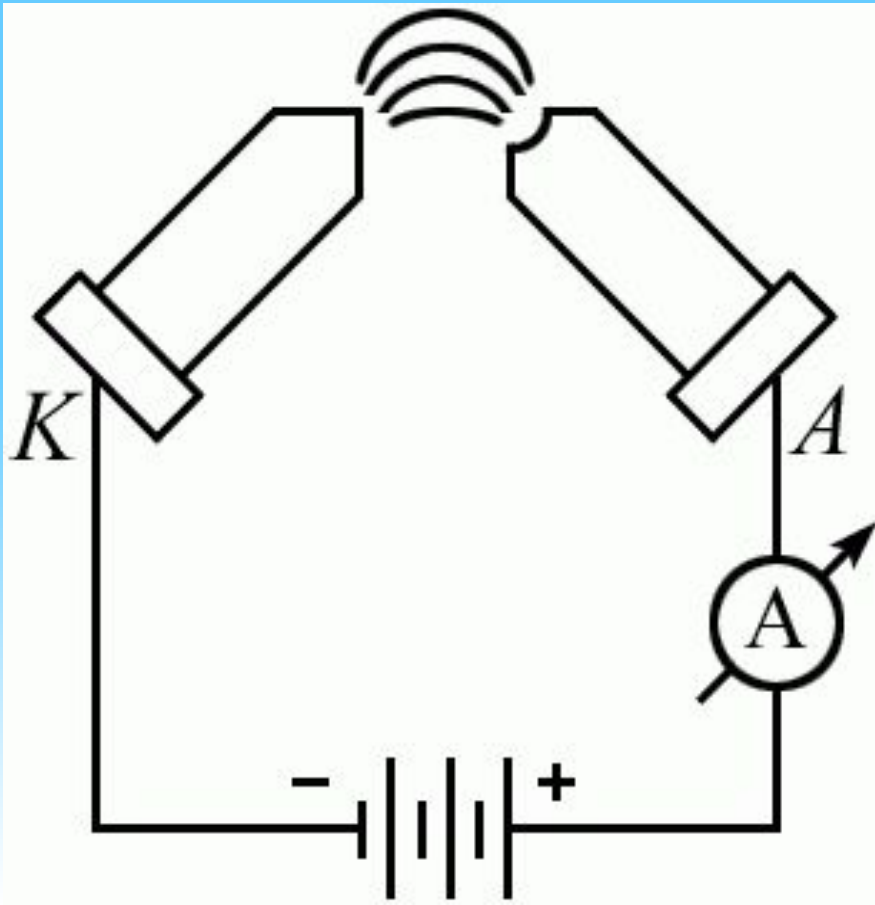
- **Дуговой разряд.** Если после получения искрового разряда от мощного источника постепенно уменьшать расстояние между электродами, то разряд из прерывистого становится непрерывным возникает новая форма газового разряда, называемая **дуговым разрядом.**

- $P_{ат}$
- $U=50-100 \text{ В}$
- $I = 100 \text{ А}$



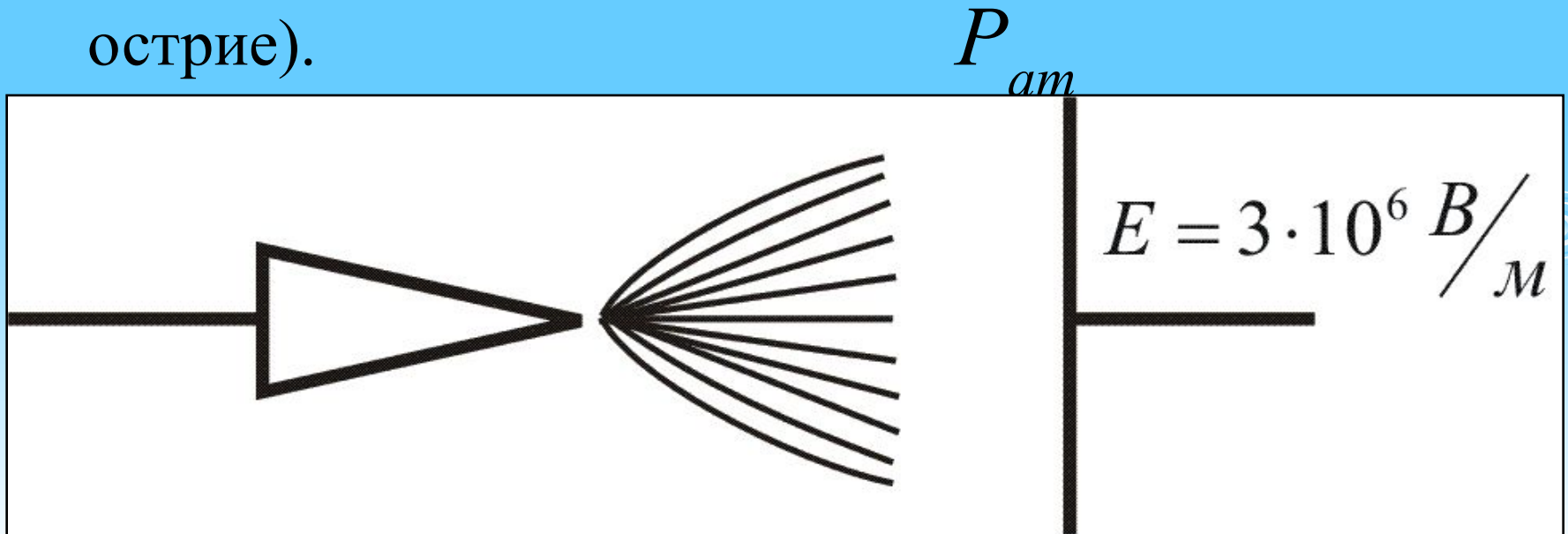


- **Ток** при дуговом разряде **резко увеличивается, достигая десятков и сотен ампер**, а **напряжение** на разрядном промежутке **падает до нескольких десятков вольт**.
- Дуговой разряд поддерживается, главным образом, за счет **термоэлектронной эмиссии с поверхности катода**.
- На практике – это **сварка, мощные дуговые печи**.

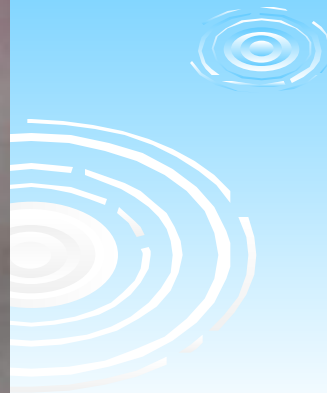


# Коронный разряд

- **Коронный разряд** возникает в **сильном неоднородном электрическом поле** при сравнительно **высоких давлениях** газа (порядка атмосферного).
- Такое поле можно получить между двумя электродами, поверхность одного из которых обладает большой кривизной (тонкая проволоочка, острие).

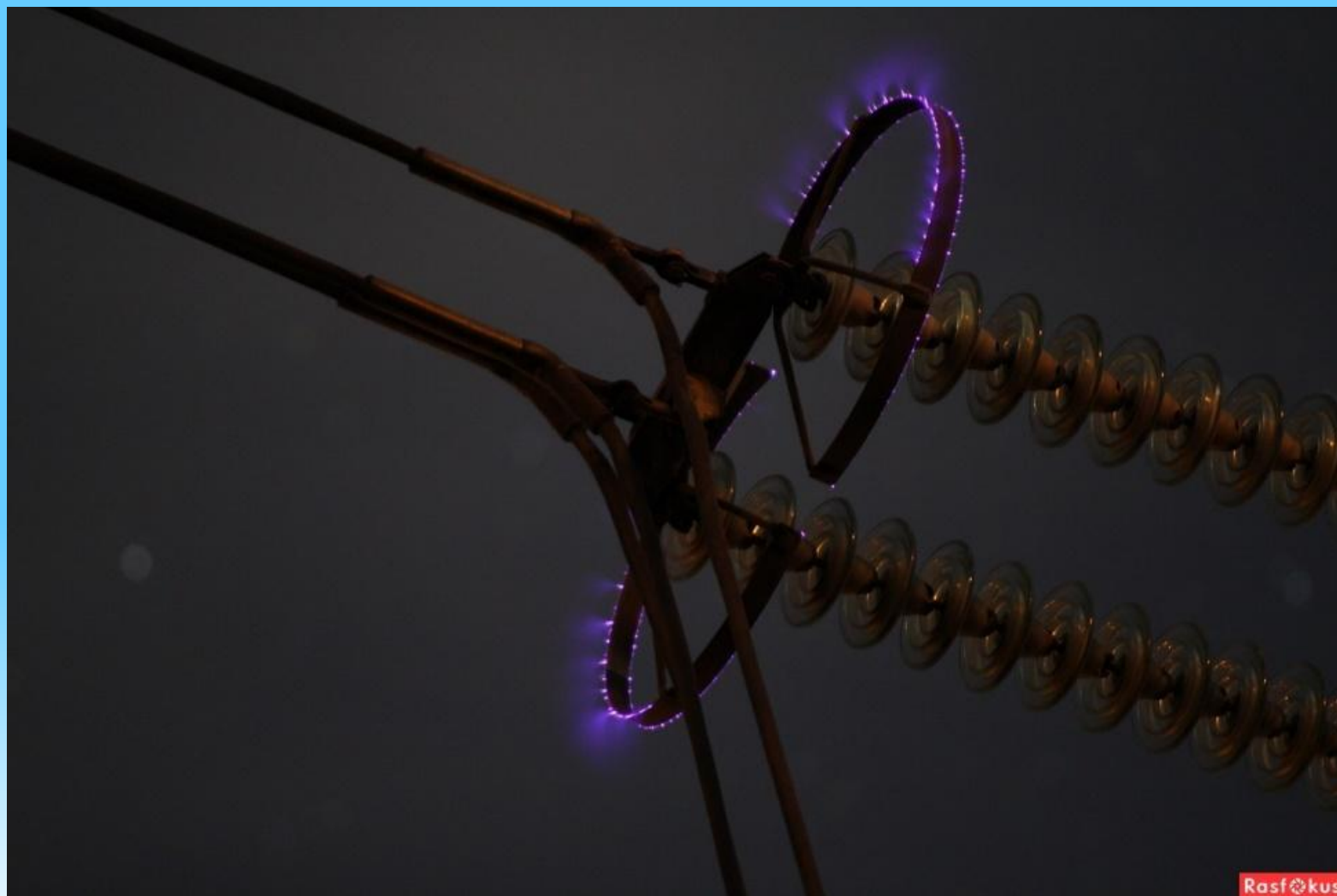


- Когда электрическое поле вблизи электрода с большой кривизной достигает примерно  $3 \cdot 10^6$  В/м, вокруг него возникает свечение, имеющее вид оболочки или короны, откуда и произошло название заряда.





# Коронный разряд на ЛЭП



## 8.5. Применение газового разряда

- Самыми распространёнными приборами, основанными на явлении газового разряда, являются точные приборы, которые можно разделить на следующие групп шесть групп.
  - Тиратроны и газотроны тлеющего разряда.
    - Стабиллитроны тлеющего и коронного разрядов.
  - Счётчики коммутаторные векотроны.
  - Индикаторы тлеющего разряда.
    - Газотроны тиратроны с наполненным катодом.
    - Импульсные водородные тиратроны с наполненным катодом.

□ Газоразрядные приборы очень разнообразны, и различаются видом используемого разряда.

□ Они используются для стабилизации напряжения, защиты от перенапряжения, выполнения переключательных функций, индикации электрического состояния и т. д.

- В последнее время для повышения защиты уязвимых и ответственных объектов, например, пусковых комплексов ракет, пытаются реализовать различные формы управления молнией, в частности лазерное инициирование молнии.

- Лазерное инициирование основано на создании в воздухе ионизованного канала с помощью лазерного излучения.

## 8.6. Понятие о плазме

- В газовом разряде возникает большое количество положительных ионов вследствие высокой эффективности ударной ионизации, причем концентрация ионов и электронов одинакова.
- Такая система из электронов и положительных ионов, распределенных с одинаковой концентрацией, называется плазмой.

*Плазма, в которой выполняется равенство:*

$$T_{\text{э}} = T_{\text{и}} = T_{\text{а}}$$

(где индексы «э», «и», «а» относятся к электронам, ионам, атомам) **называется изотермической**.

- Такая плазма имеет место при ионизации с помощью высокой температуры (дуга, горящая при атмосферном и выше давлении, искровой канал); например, в дуге сверхвысокого давления (до 1000 атм.) температура плазмы достигает 10000 К, температура плазмы при термоядерном взрыве – порядка нескольких десятков миллионов градусов, в установке «ТОКАМАК» для исследования термоядерных реакций – порядка  $7 \cdot 10^6$  К

## Важнейшие свойства плазмы:

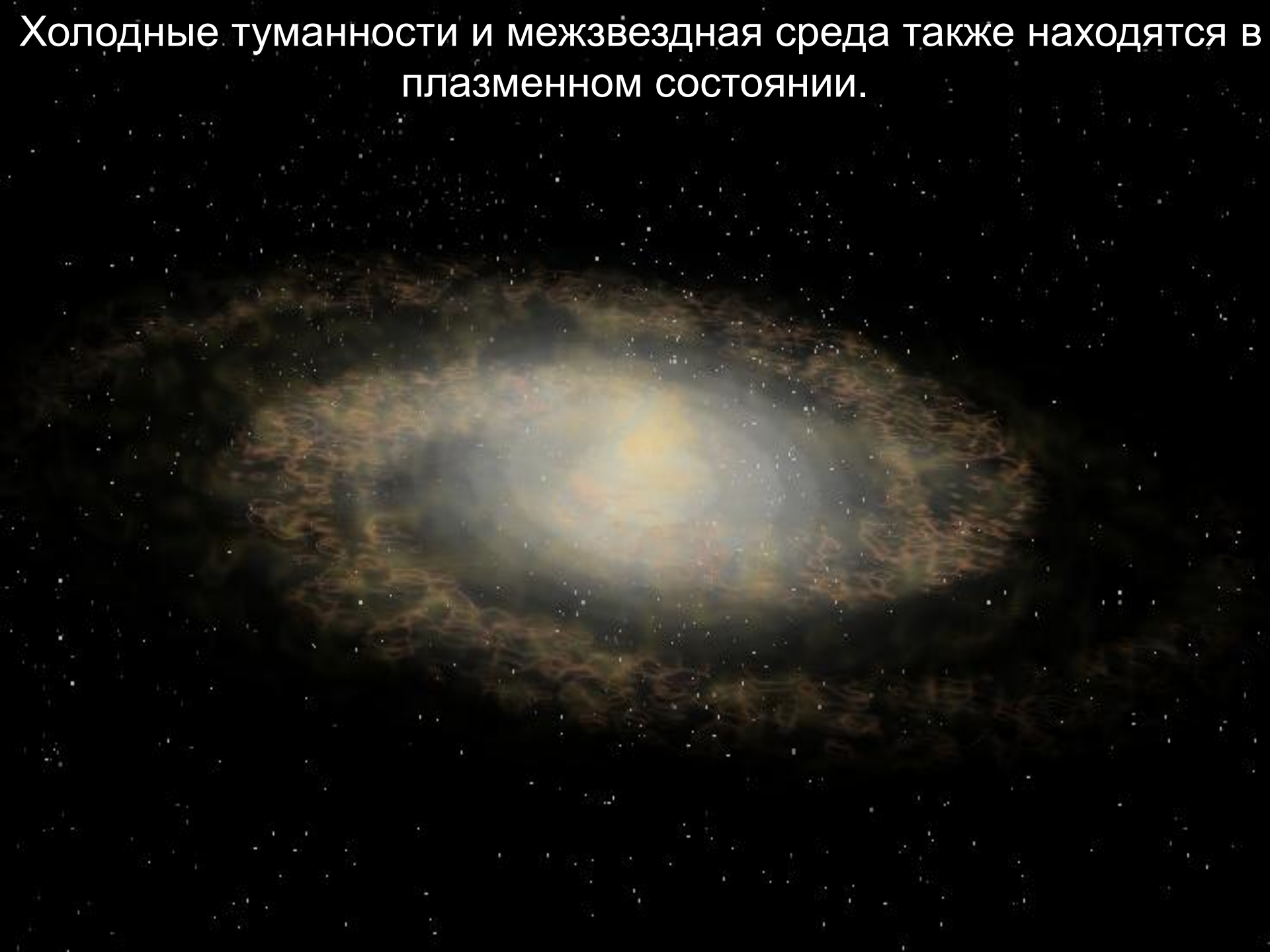
- а) **сильное** взаимодействие с внешними магнитными и электрическими полями, связанное с ее высокой электропроводностью;
- б) **специфическое коллективное взаимодействие частиц** плазмы, осуществляющееся через усредненные электрические и магнитные поля, которые создают сами эти частицы;
- в) **благодаря коллективным взаимодействиям** плазма ведет себя как своеобразная упругая среда, в которой легко возбуждаются и распространяются различного рода колебания и волны (например, ленгмюровские колебания плазмы);
- г) **во внешнем магнитном поле** плазма ведет себя как диамагнитная среда;
- д) **удельная электрическая проводимость**  $\sigma$  полностью ионизованной плазмы не зависит от плотности плазмы и увеличивается с ростом термодинамической температуры, и при  $T \geq 10^7$  К столь велика, что плазму можно приближенно считать идеальным проводником  $\sigma \rightarrow \infty$



Плазма – наиболее распространенное состояние вещества во Вселенной. Солнце и другие звезды состоят из полностью ионизованной высокотемпературной плазмы. Основным источником энергии излучения звезд – термоядерные реакции синтеза, протекающие в недрах звезд при огромных температурах.

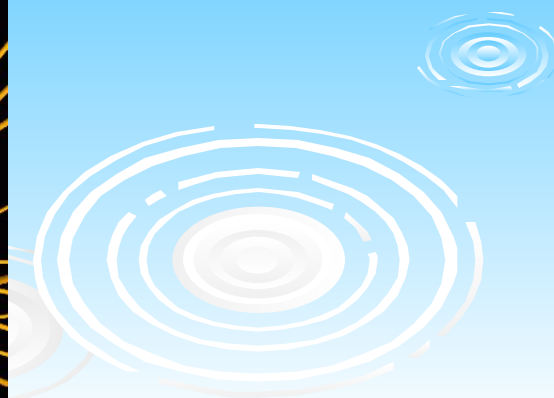
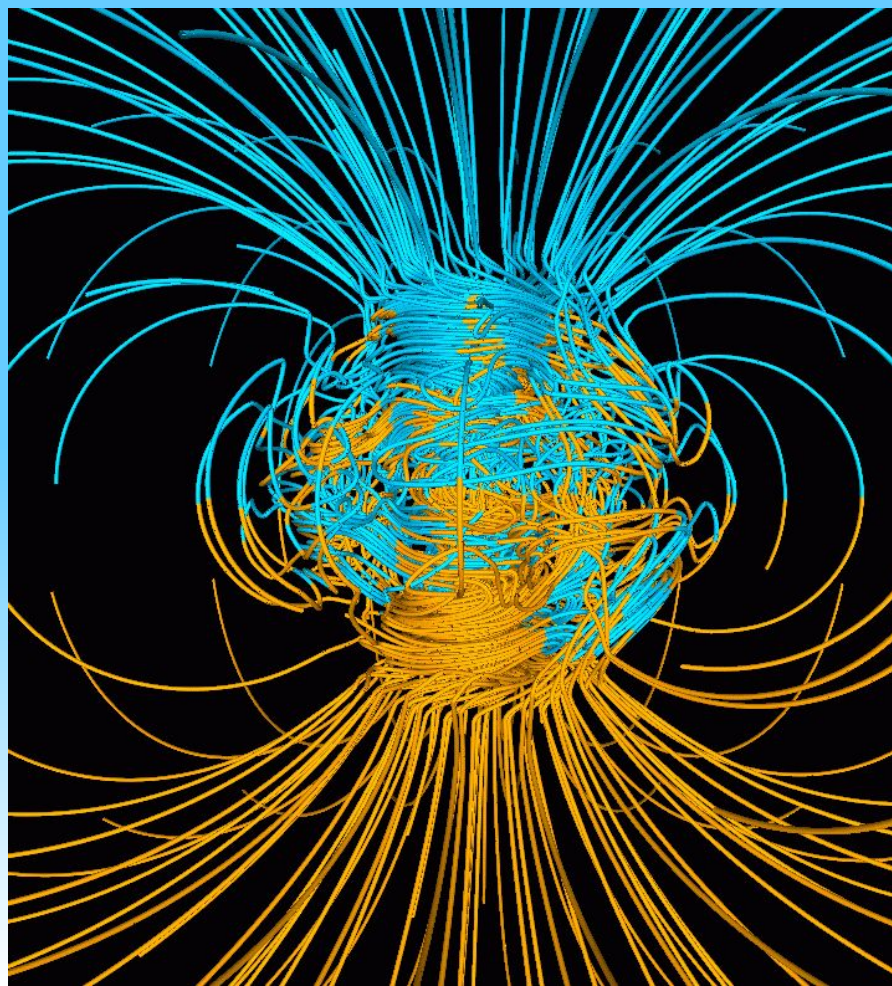


Холодные туманности и межзвездная среда также находятся в  
плазменном состоянии.

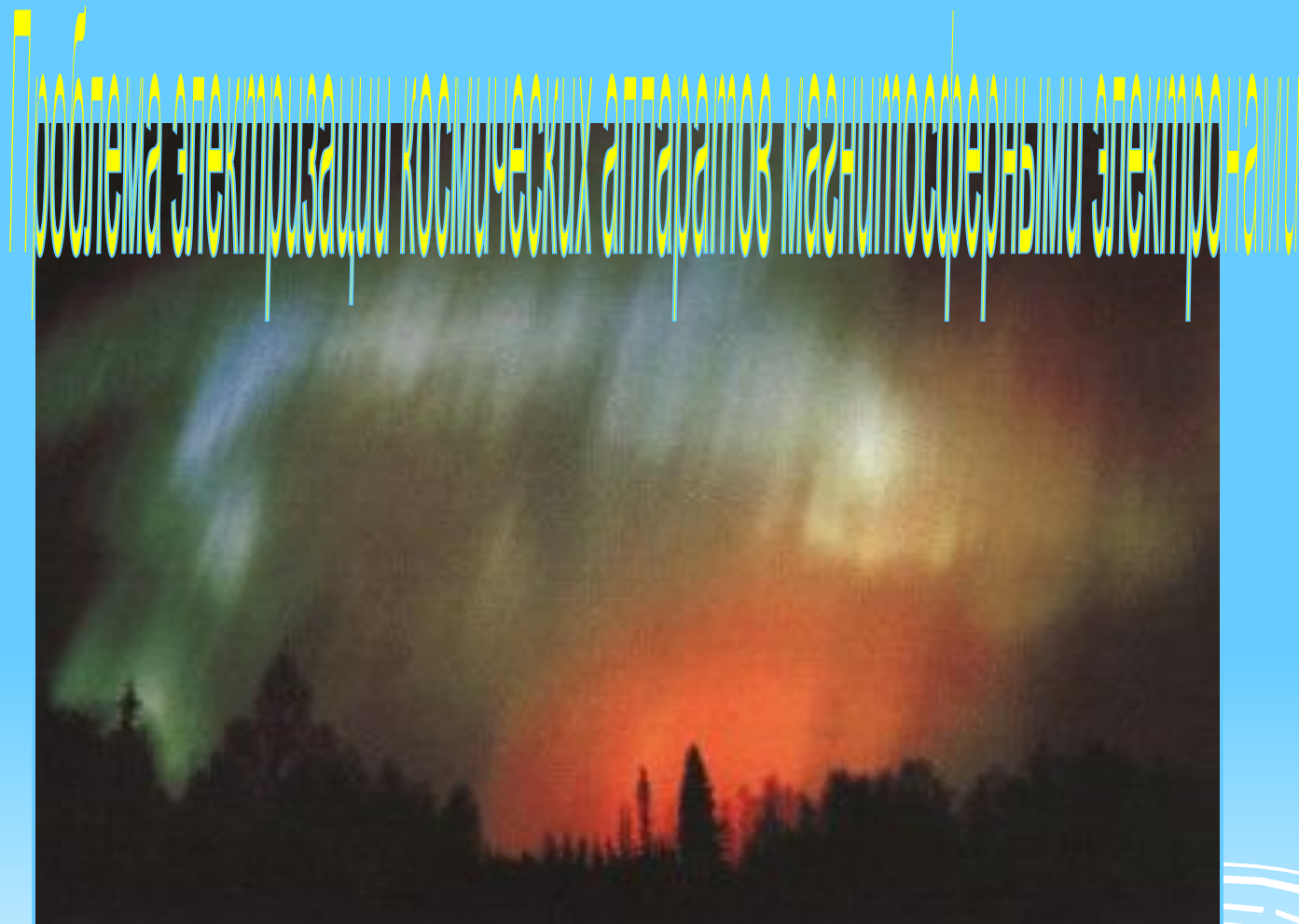




В околоземном пространстве слабоионизованная плазма находится в радиационных поясах и ионосфере Земли. С процессами, происходящими в этой плазме, связаны такие явления, как магнитные бури, нарушения дальней радиосвязи и полярные сияния

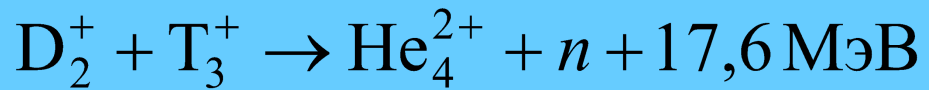




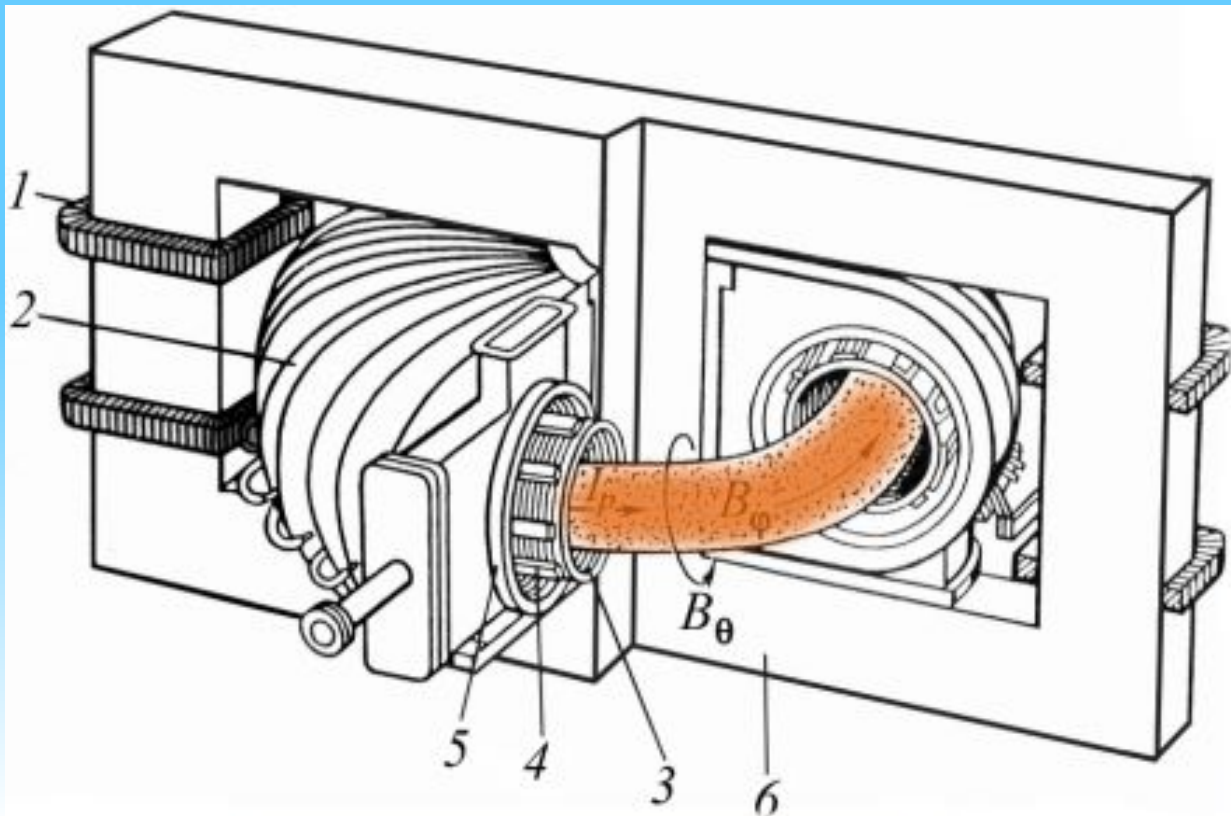


"высыпание" электронов 10-100 кэВ

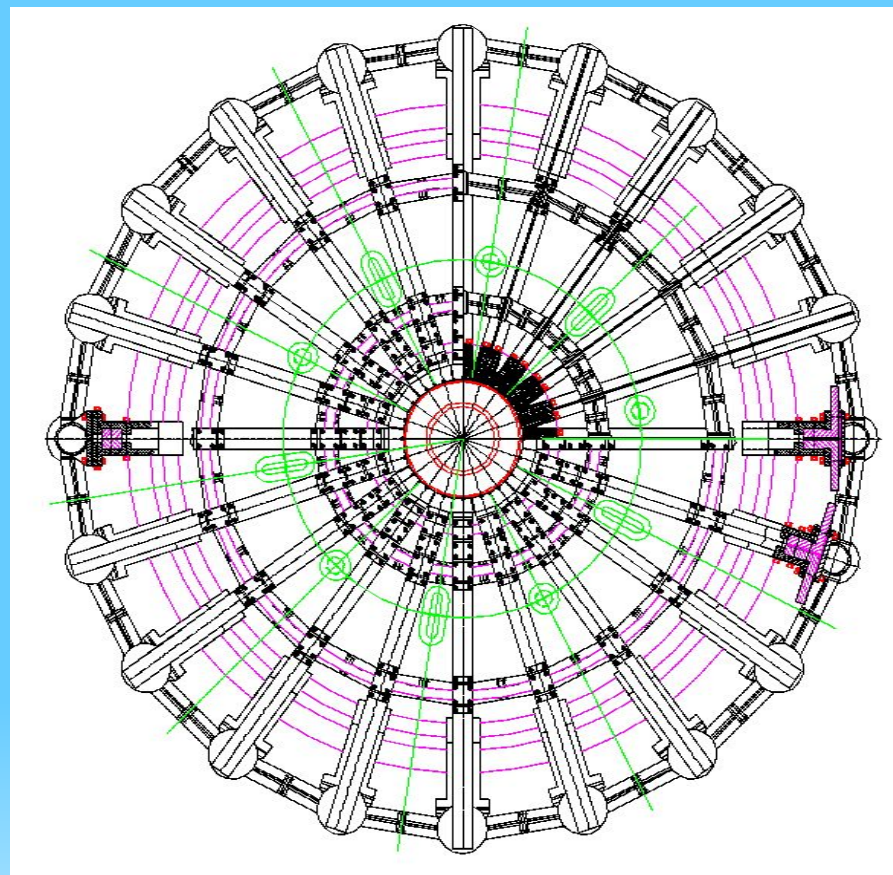
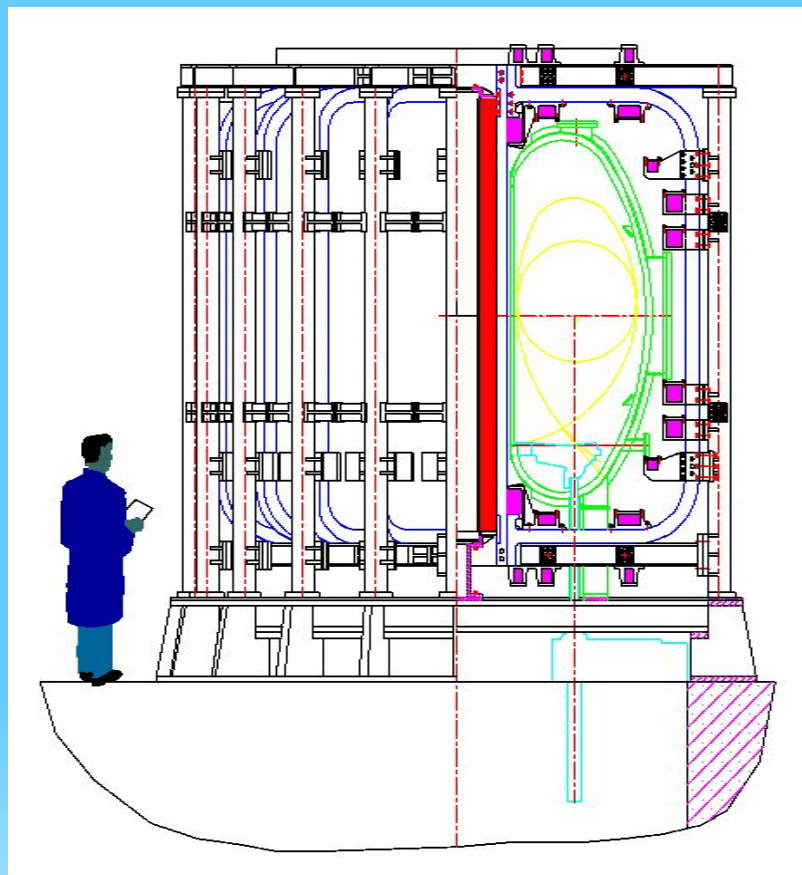
Основной практический интерес к физике плазмы связан с решением проблемы **управляемого термоядерного синтеза** – процесс слияния легких атомных ядер при высоких температурах в управляемых условиях. Энергетический выход реактора составляет  $10^5$  кВт/м<sup>3</sup> при температуре  $10^8$  К.



### Схема токамака



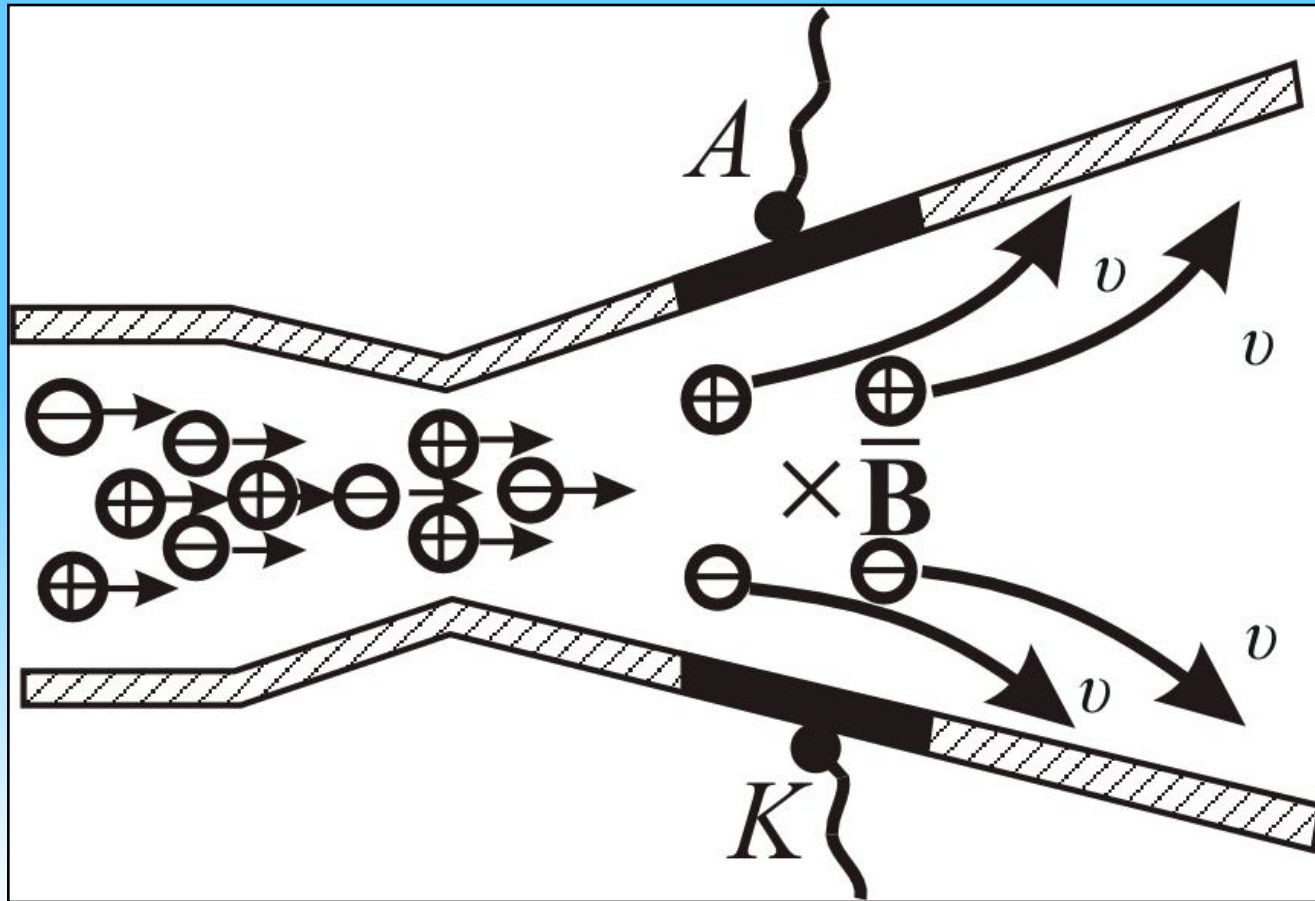
# Схема Казахстанского токамака КТМ в сечении и его вид с вакуумной камерой



Осуществление управляемой термоядерной реакции в высокотемпературной плазме позволит человечеству в будущем получить **практически неисчерпаемый источник энергии.**

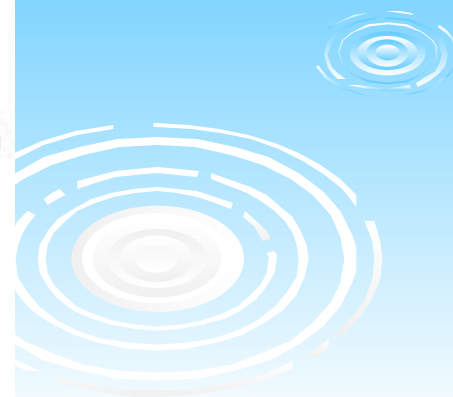
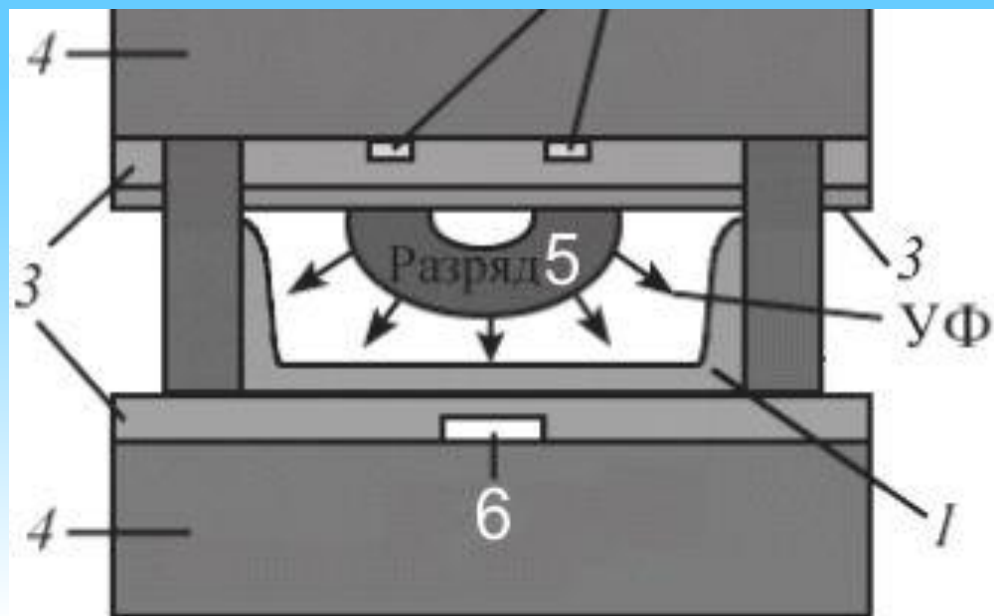
# МГД - генератор

Движение плазмы в магнитном поле используется в методе прямого преобразования внутренней энергии ионизованного газа в электрическую. Этот метод осуществлен в *магнитогазодинамическом генераторе*

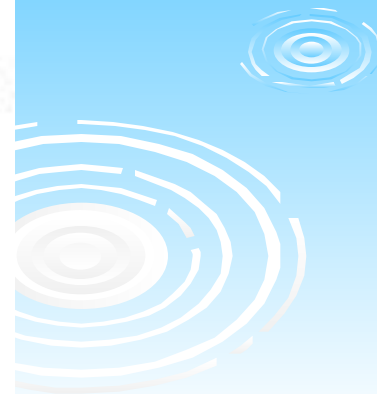
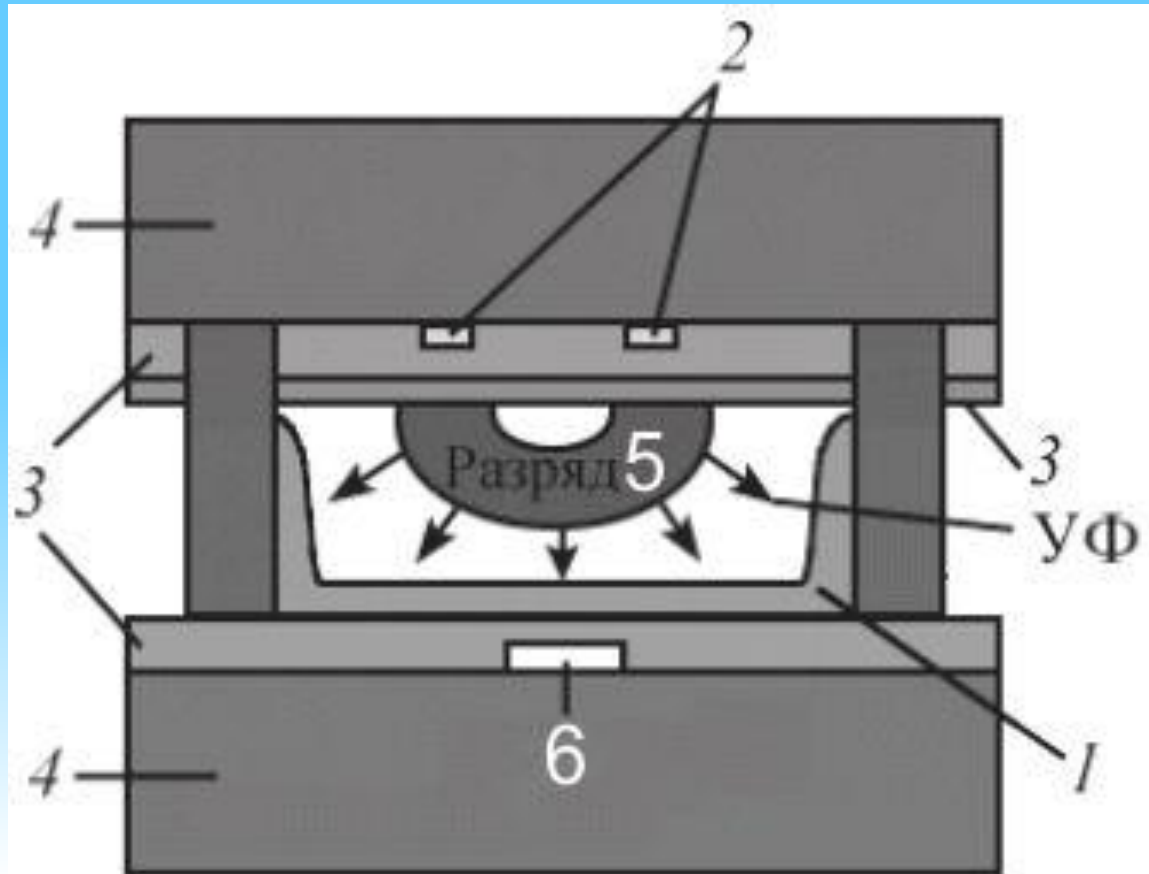




- Свойства плазмы излучать электромагнитные волны ультрафиолетового диапазона используются в современных телевизорах с плоским плазменным экраном.
- Ионизация плазмы в плоском экране происходит в газовом разряде. Разряд возникает при бомбардировке молекул газа электронами, ускоренными электрическим полем – самостоятельный разряд.



- Плоский телевизор с экраном из газоразрядных элементов содержит около миллиона маленьких плазменных ячеек, собранных в триады RGB – пиксели (*pixel – picture element*).



Лекція окончена!

