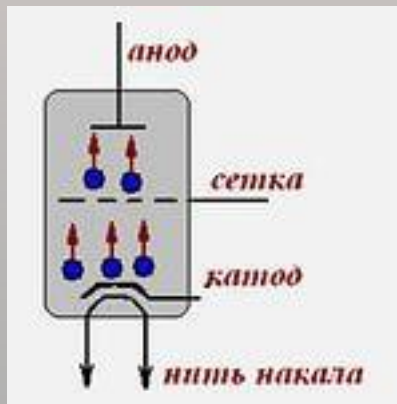


Ток в вакууме

{ 10 класс



Что такое вакуум?

- Это такая степень разрежения газа, при которой соударений молекул практически нет;

$$p \ll p_{\text{атм}} \text{ (до } 10^{-13} \text{ мм рт. ст.)}$$

Для существования электрического тока в вакууме нужно искусственно ввести в это пространство свободные электроны (с помощью эмиссионных явлений).

Электрический ток невозможен, т.к.

возможное количество ионизированных молекул не может обеспечить

электропроводность;

- создать эл.ток в вакууме можно, если

использовать источник заряженных частиц;

- действие источника заряженных частиц

может быть основано на явлении

термоэлектронной эмиссии.

Фотоэлектронная эмиссия
(фотоэлектрический эффект,
фотоэффект). *Процесс испускания*
электронов металлами под
воздействием света. Открыт Г. Герцем,
исследован А. Г. Столетовым.
Объяснен А. Эйнштейном.

Автоэлектронная эмиссия. *Процесс испускания электронов под воздействием электрического поля.*

Термоэлектронная эмиссия

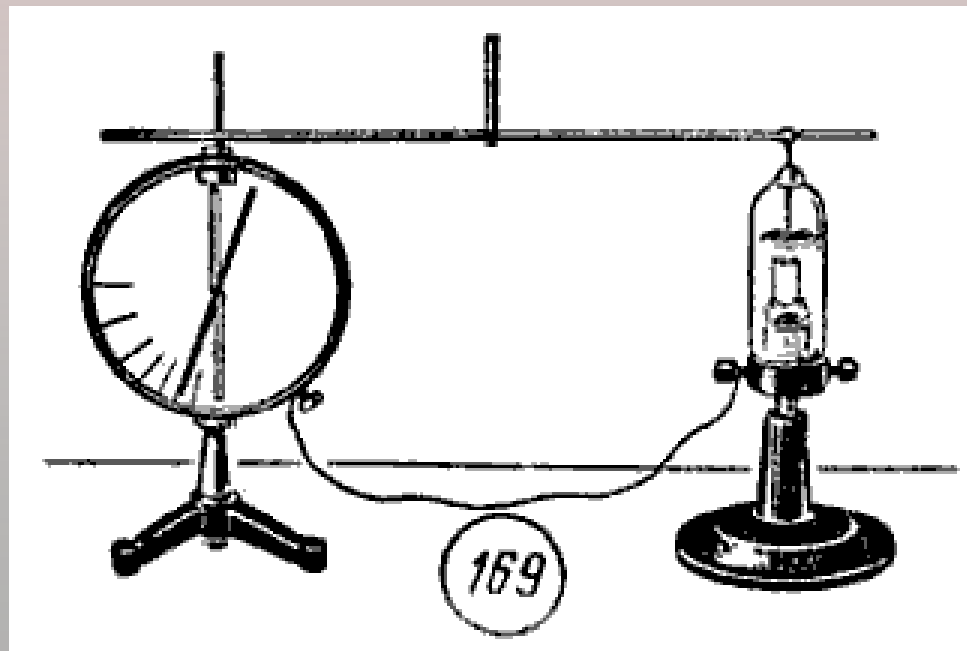
- это испускание электронов твердыми или жидкими телами при их нагревании до температур, соответствующих видимому свечению раскаленного металла.

Нагретый металлический электрод непрерывно испускает электроны, образуя вокруг себя электронное облако.

В равновесном состоянии число электронов, покинувших электрод, равно числу электронов, возвратившихся на него (т.к. электрод при потере электронов заряжается положительно).

Чем выше температура металла, тем выше плотность электронного облака.

Термоэлектронная эмиссия. Соединим стержень заряженного электрометра с одним электродом вакуумной стеклянной колбы, а корпус электрометра — с другим электродом, представляющим собой тонкую металлическую нить (рис. 169). Опыт покажет, что электрометр не разряжается.



Между двумя электродами, расположенными в герметичном сосуде, из которого удален воздух, и находящимися под напряжением, электрический ток отсутствует, так как в вакууме нет свободных носителей электрического заряда. Американский ученый и изобретатель Томас Эдисон (1847 — 1931) обнаружил (1879 г.), что в вакуумной стеклянной колбе возникает электрический ток, если один из электродов нагреть до высокой температуры.

Подключим к выводам металлической нити источник тока. Если нить соединена с отрицательным полюсом источника, то при ее нагревании электромметр быстро разряжается. При соединении нити с положительным полюсом электромметр не разряжается и при нагревании нити током. Эти опыты доказывают, что нагретый катод испускает частицы, обладающие отрицательным электрическим зарядом. Эти частицы — электроны. Явление испускания свободных электронов с поверхности нагретых тел называется *термоэлектронной эмиссией*.

Важнейшими приборами в электронике первой половины XX в. были электронные лампы, в которых использовался электрический ток в вакууме. Однако им на смену пришли полупроводниковые приборы. Но и сегодня ток в вакууме используется в электронно-лучевых трубках, при вакуумном плавлении и сварке, в том числе в космосе, и во многих других установках. Это и определяет важность изучения электрического тока в вакууме.

Вакуум (от лат. *vacuum* – пустота) – состояние газа при давлении, меньшем атмосферного. Это понятие применяется к газу в замкнутом сосуде или в сосуде, из которого откачивают газ, а часто и к газу в свободном пространстве, например к космосу. Физической характеристикой вакуума есть соотношение между длиной свободного пробега молекул и размером сосуда, между электродами прибора и т.д.

Вакуумный диод

Электрический ток в вакууме возможен в электронных лампах.

Электронная лампа - это устройство, в котором применяется явление термоэлектронной эмиссии.

Диод. Термоэлектронная эмиссия используется в различных электронных приборах. Простейший из них — электровакуумный диод. Этот прибор состоит из стеклянного баллона, в котором находятся два электрода: *катод* и *анод*. Анод изготовлен из металлической пластины, катод — из тонкой металлической проволоки, свернутой в спираль. Концы спирали укреплены на металлических стержнях, имеющих два вывода для подключения в электрическую цепь. Соединив выводы катода с источником тока, можно вызвать нагревание проволочной спирали катода проходящим током до высокой температуры. Проволочную спираль, нагреваемую электрическим током, называют нитью накала лампы.

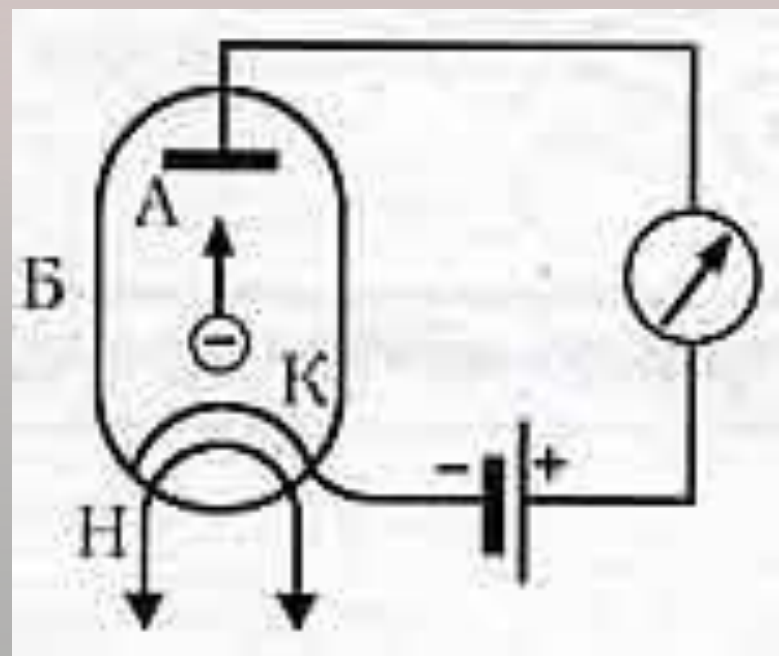
Вакуумный диод - это двухэлектродная (А- анод и К - катод) электронная лампа.

Внутри стеклянного баллона создается очень низкое давление

($10^{-6} \div 10^{-7}$ мм рт. ст.)

Н - нить накала, помещенная внутри катода для его нагревания. Поверхность нагретого катода испускает электроны. Если анод соединен с + источника тока, а катод с -, то в цепи протекает постоянный термоэлектронный ток. Вакуумный диод обладает односторонней проводимостью.

Т.е. ток в аноде возможен, если потенциал анода выше потенциала катода. В этом случае электроны из электронного облака притягиваются к аноду, создавая эл.ток в вакууме.



Изобретен Т. А. Эдисоном.

Баллон — стекло или керамика,

Вакуум: 10^{-6} - 10^{-7} мм рт. ст.

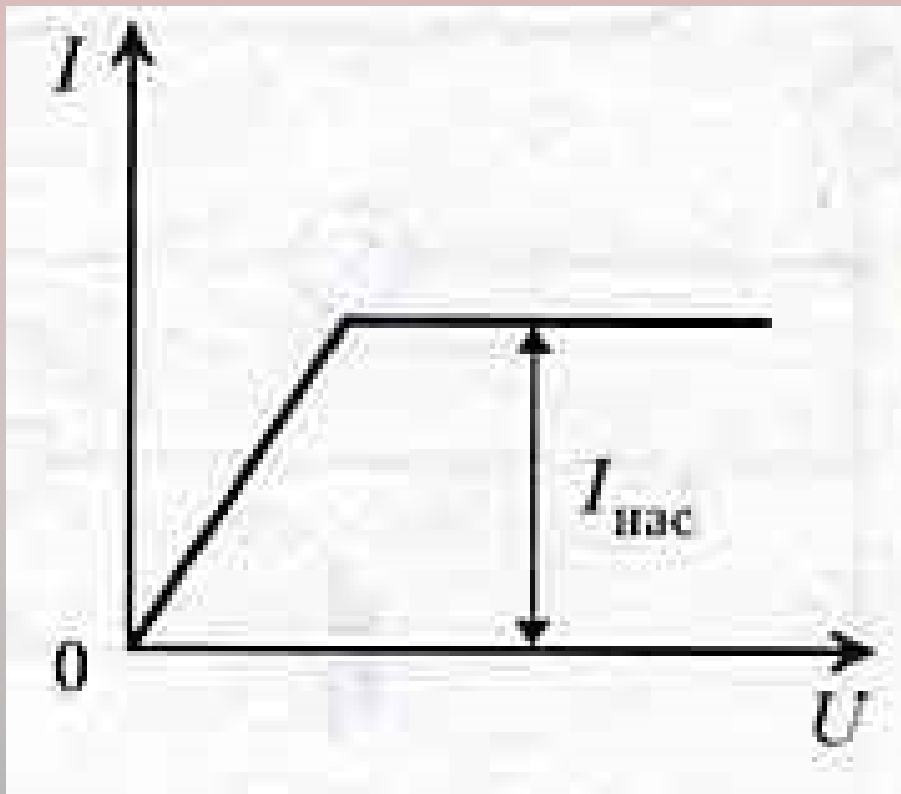
Катод — нить накала.

Анод — круглый или овальный цилиндр.

Катод: в виде вертикального металлического цилиндра, покрытого слоем оксидов щелочноземельных металлов.

(Позволяет увеличить долговечность катода. У таких катодов ток насыщения практически недостижим.)

Вольтамперная характеристика вакуумного диода.

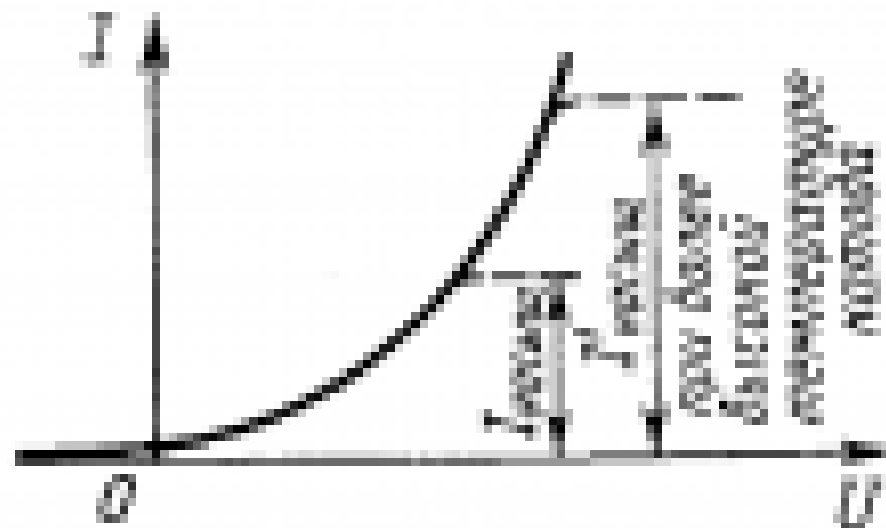


При малых напряжениях на аноде не все электроны, испускаемые катодом, достигают анода, и электрический ток небольшой. При больших напряжениях ток достигает насыщения, т.е. максимального значения.

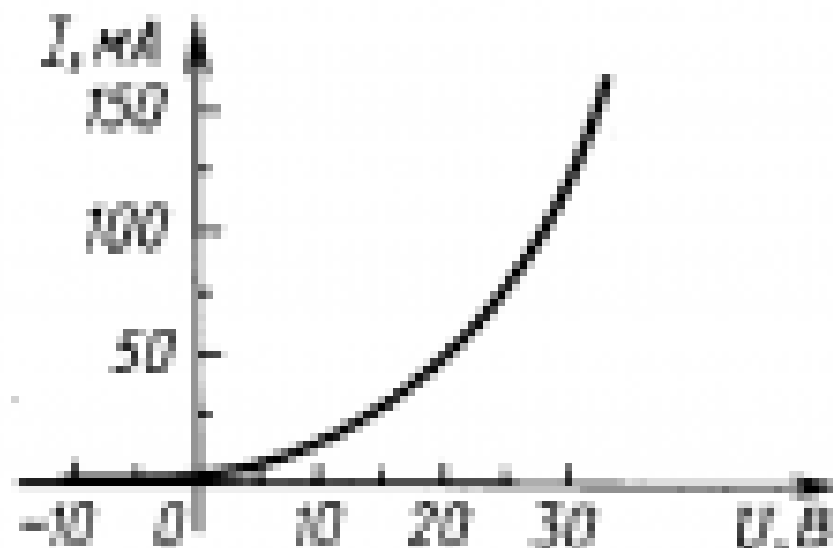
Вакуумный диод используется для выпрямления переменного тока.

Вольтамперные характеристики диода
С увеличением напряжения все большее количество электронов получает энергию, достаточную для того, чтобы достичь анода; ток возрастает. При некотором значении напряжения все электроны достигают анода. Ток перестает возрастать - ток насыщения. Для увеличения тока насыщения необходимо увеличить количество электронов (увеличить температуру катода). В приборах с косвенным накалом ток насыщения практически не достигается.

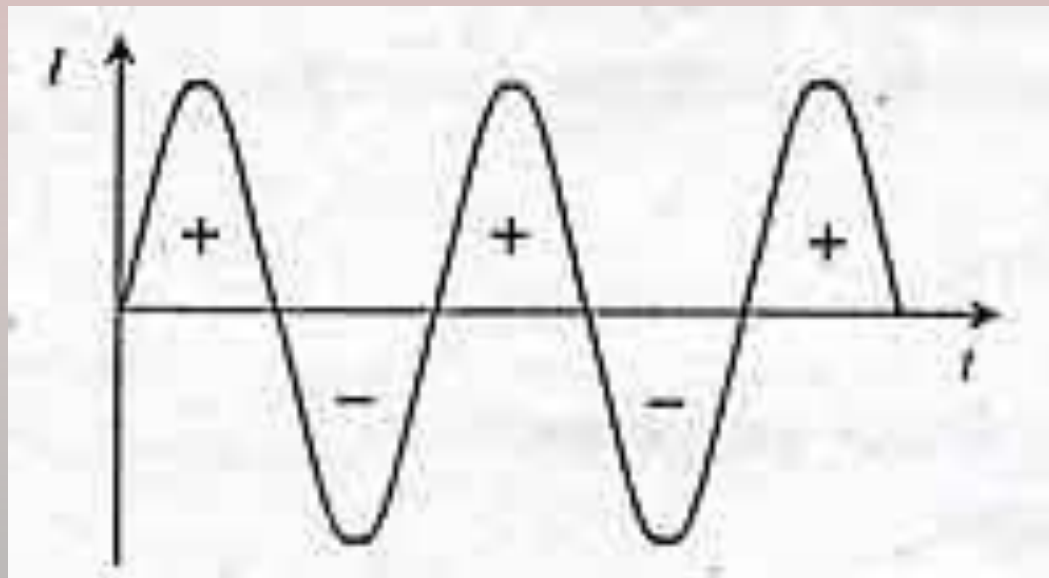
Для катода прямого накала



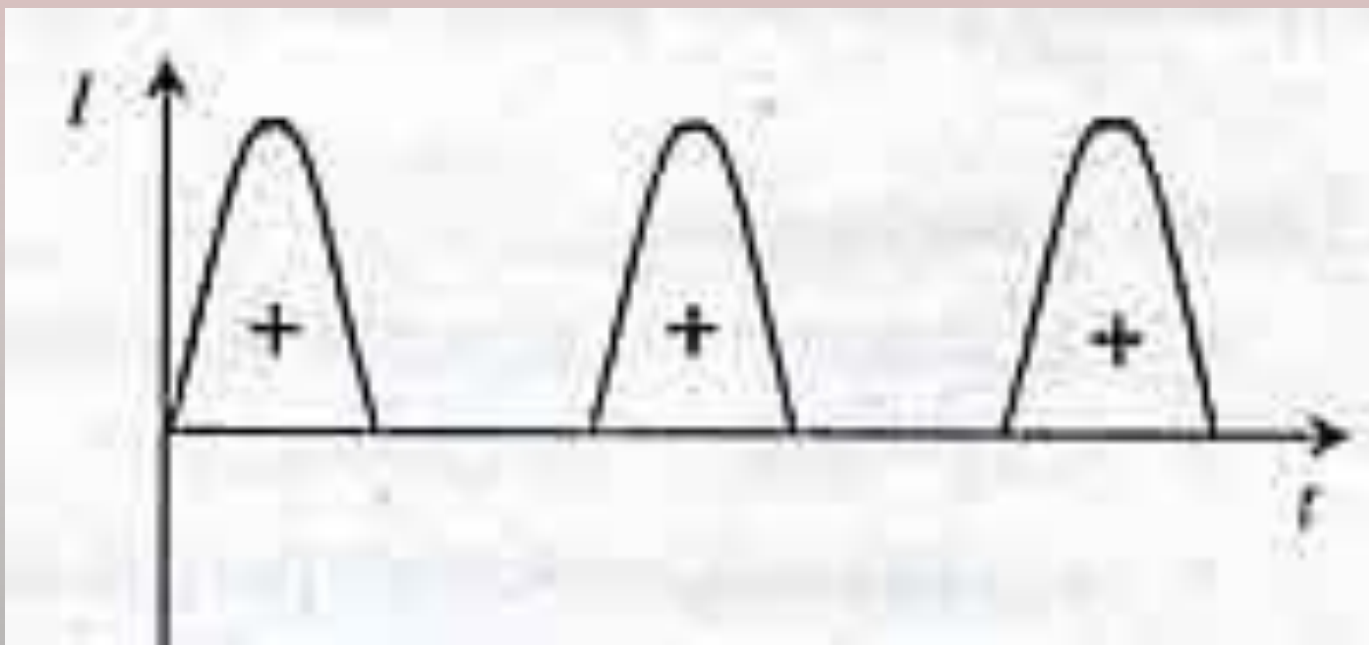
Для катода косвенного накала



Ток на входе диодного выпрямителя:



Ток на выходе выпрямителя:



Триод. Поток электронов, движущихся в электронной лампе от катода к аноду, можно управлять с помощью электрических и магнитных полей. Простейшим электровакуумным прибором, в котором осуществляется управление потоком электронов с помощью электрического поля, является *триод*. Баллон, анод и катод вакуумного триода имеют такую же конструкцию, как и у диода, однако на пути электронов от катода к аноду в триоде располагается третий электрод, называемый *сеткой*. Обычно сетка — это спираль из нескольких витков тонкой проволоки вокруг катода.

Изобретен в 1913 г. Л. де Форестом.

Регулируя потенциал между катодом и сеткой можно регулировать число электронов в анодной цепи.

Применения:

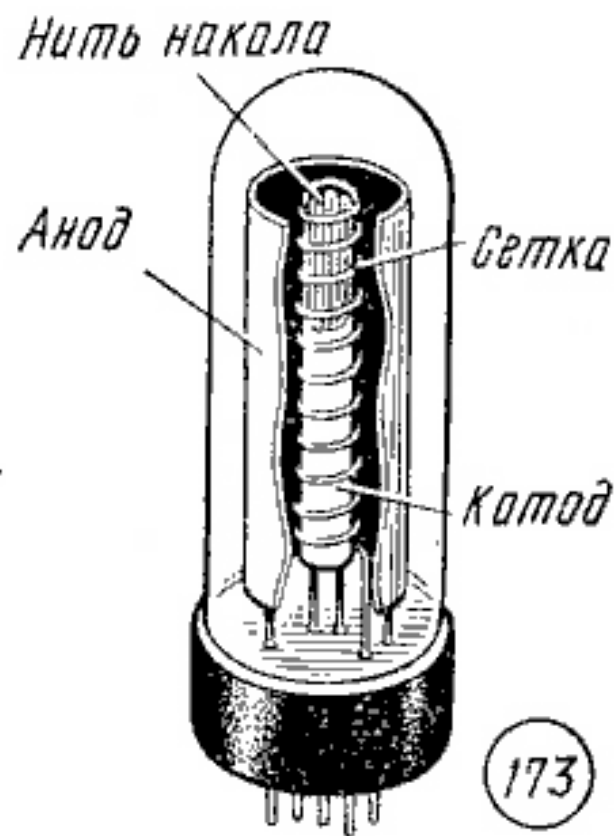
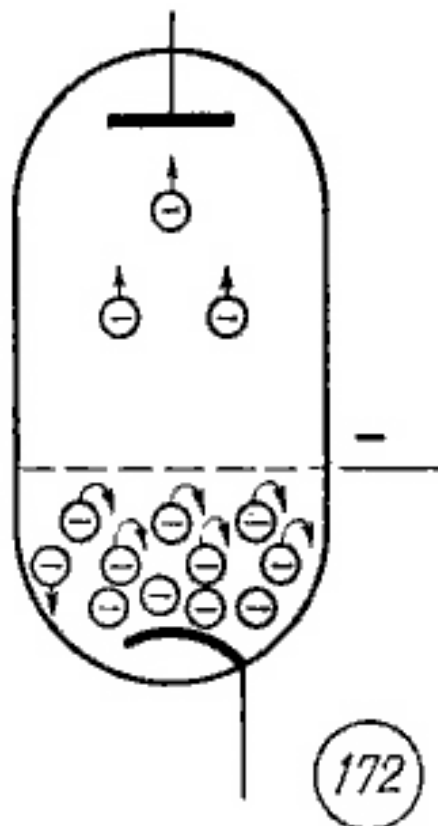
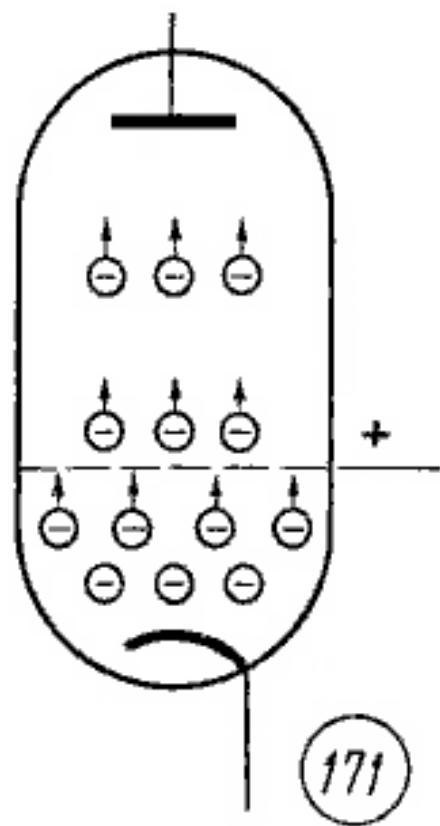
Безынерционный электронный ключ в генераторах электромагнитных волн высокой частоты (рабочая точка находится на криволинейном участке характеристика).

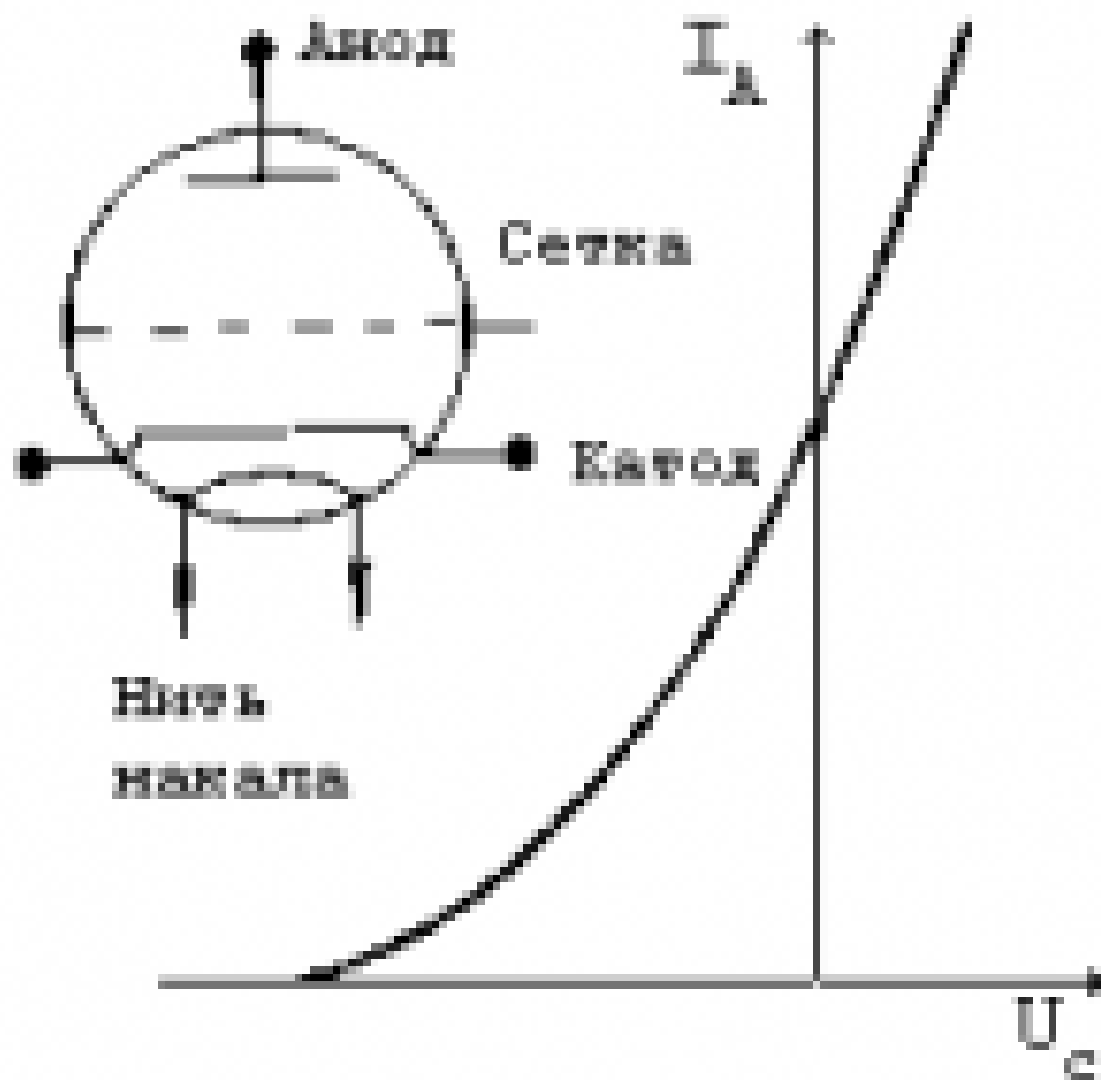
Усилительный элемент (рабочая точка находится на прямолинейном участке).

Из многоэлектродных ламп наиболее часто применяются пентоды, октоды, гептоды.

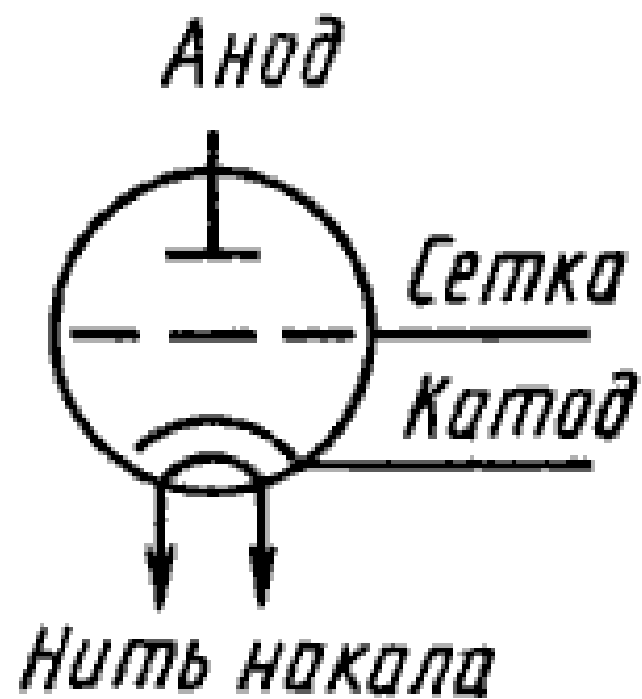
Важное достоинство - в одном корпусе можно соединить две и более системы.

Если на сетку подается положительный потенциал относительно катода (рис. 171), то значительная часть электронов пролетает от катода к аноду, и в цепи анода существует электрический ток. При подаче на сетку отрицательного потенциала относительно катода электрическое поле между сеткой и катодом препятствует движению электронов от катода к аноду (рис. 172), анодный ток убывает. Таким образом, изменяя напряжение между сеткой и катодом, можно регулировать силу тока в цепи анода.





Анодно-сеточная характеристика



174

Назад в будущее - электронные вакуумные лампы могут стать будущим вычислительной техники. Было время, когда вся электроника создавалась на основе электронных вакуумных ламп, которые по внешнему виду напоминают маленькие лампочки, и которые выполняют функции усилителей, генераторов и электронных коммутаторов. В современной электронике для выполнения этих всех функций используются транзисторы, которые изготавливаются в промышленных масштабах при весьма низкой их себестоимости.

Теперь же, исследователи из Исследовательского центра НАСА имени Эймса (NASA Ames Research Center) разработали технологию производства наноразмерных электронных вакуумных ламп, что позволит в будущем создать более быстро и более надежно работающие компьютеры.

Электронные вакуумные лампы более надежны в работе нежели транзисторы, которые достаточно просто вывести из строя. К примеру, если транзисторная электроника попадает в космос, то рано или поздно ее транзисторы выходят из строя, "поджаренные" космическим излучением.

Электронные лампы же практически не подвержены воздействию радиации.

Создание электронной вакуумной лампы, размерами не превышающей размеры современного транзистора, является огромной проблемой, особенно в массовом производстве. Изготовление крошечных индивидуальных вакуумных камер - это самый сложный и дорогой процесс, который применяют только в случаях острой необходимости. Но ученые НАСА решили эту проблему достаточно интересным путем, оказалось, что при уменьшении размеров электронной лампы менее некоторого предела наличие вакуума перестает быть необходимым условием. Наноразмерные вакуумные лампы, у которых имеется нить накаливания и один электрод, имеют размеры в 150 нанометров. Зазор между электродами лампы настолько мал, что наличие в нем воздуха не является помехой для их работы, вероятность столкновения электронов с молекулой воздуха стремиться к нулю.

Естественно, впервые новые наноэлектронные лампы появятся в электронном оборудовании космических кораблей и аппаратов, где устойчивость электроники к радиации имеет первостепенное значение. Помимо этого, электронные лампы могут работать на частотах, в десятки раз превышающих частоты работы самых лучших экземпляров кремниевых транзисторов, что в будущем позволит на их основе создавать компьютеры, намного более быстрые, чем те, которые мы используем сейчас.

Электронные пучки

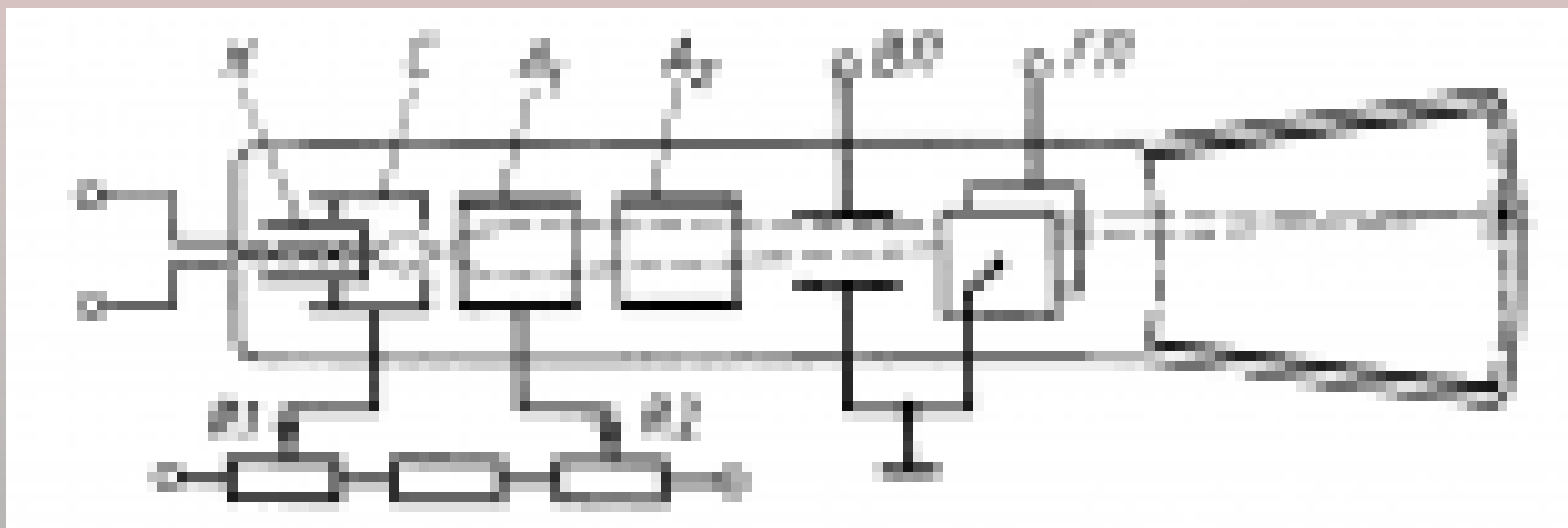
- это поток быстро летящих электронов в электронных лампах и газоразрядных устройствах.

Свойства электронных пучков:

- отклоняются в электрических полях;
- отклоняются в магнитных полях под действием силы Лоренца;
- при торможении пучка, попадающего на вещество возникает рентгеновское излучение;
- вызывает свечение (люминисценцию) некоторых твердых и жидких тел (люминофоров);
- нагревают вещество, попадая на него.

Электронно - лучевая трубка (ЭЛТ)

- используются явления термоэлектронной эмиссии и свойства электронных пучков.



Электронно-лучевая трубка

Основной частью осциллографа и телевизора является электронно-лучевая трубка:

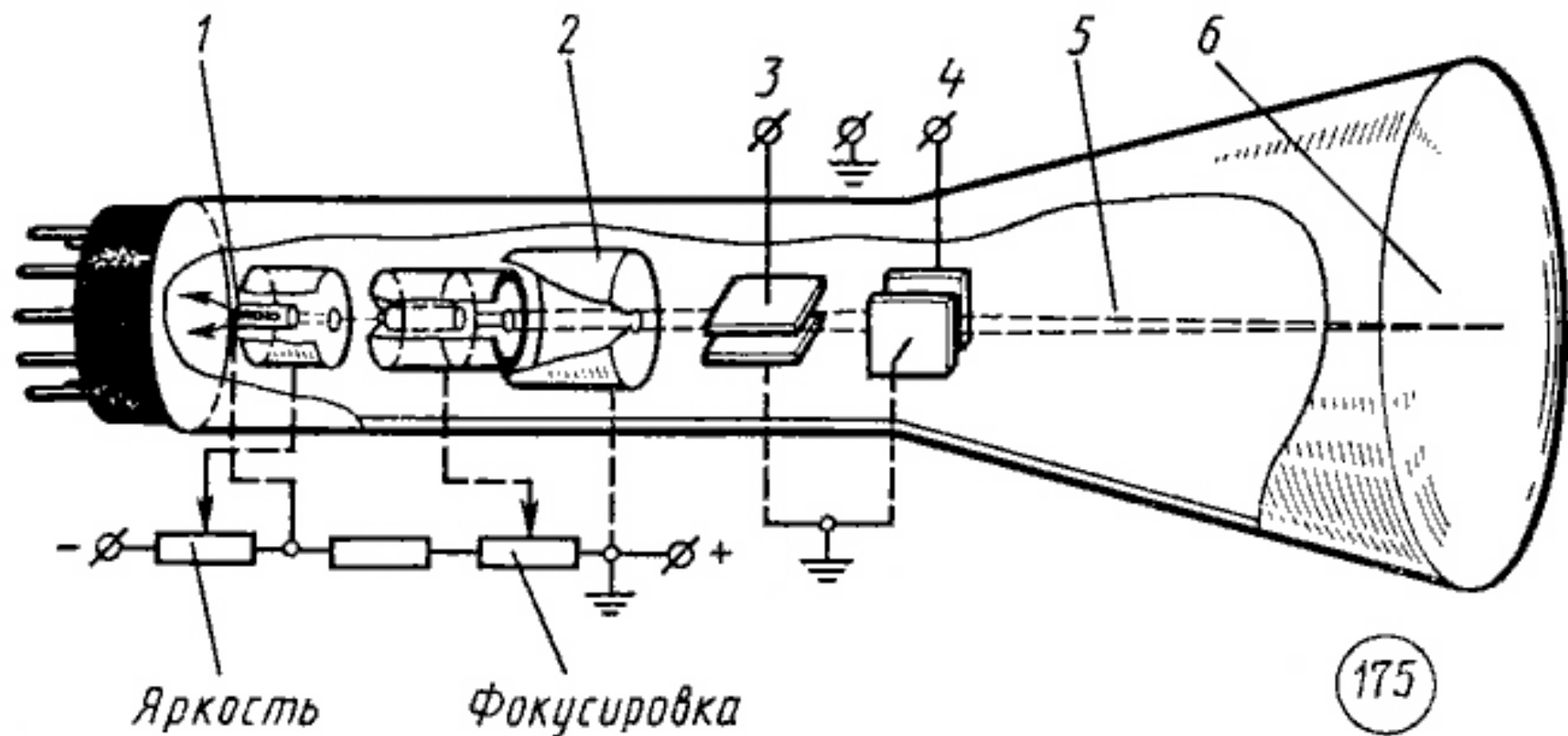
R1 — регулирует интенсивность электронного пучка (яркость); *R2* — фокусирует луч на экране;

K — катод (электронная пушка);

C — управляющий электрод;

A₁ и *A₂* - аноды;

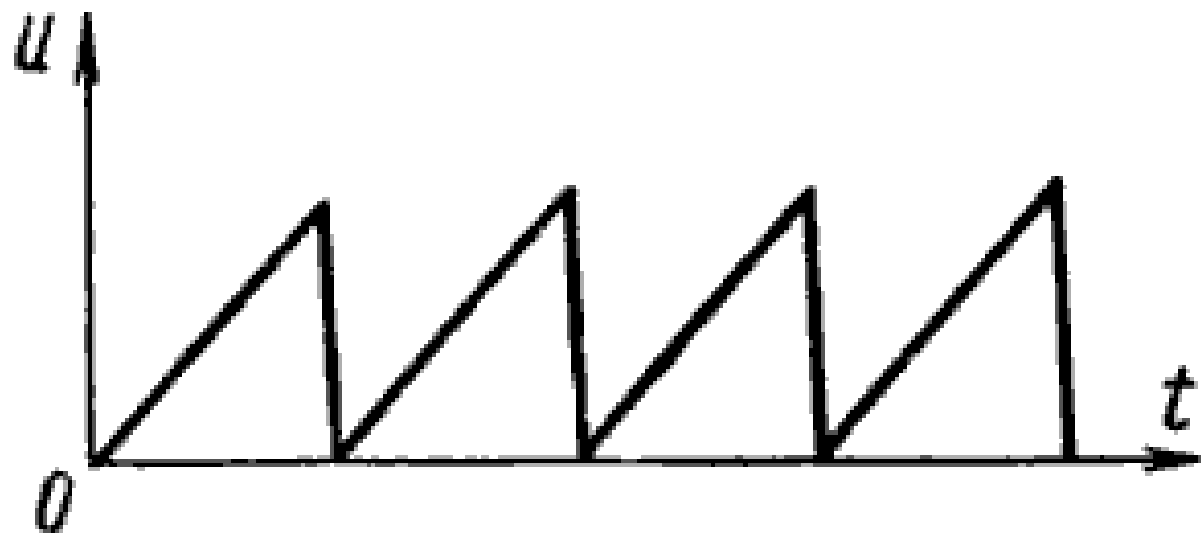
ВП, ГП- вертикальная и горизонтальная отклоняющие пластины.



с помощью электрических и магнитных полей можно управлять движением электронов на пути от анода до экрана и заставить электронный луч «рисовать» любую картину на экране. Эта способность электронного луча используется для создания изображений на экране электронно-лучевой трубки телевизора, называемой кинескопом. Изменение яркости свечения пятна на экране достигается путем управления интенсивностью пучка электронов с помощью дополнительного электрода, расположенного между катодом и анодом и работающего по принципу управляющей сетки электровакуумного триода.

В трубке электронно-лучевого осциллографа между анодом и экраном расположены две пары параллельных металлических пластин. Эти пластины называются отклоняющими пластинами. Подача напряжения на вертикально расположенные пластины 4 вызывает смещение электронного луча в горизонтальном направлении, подача напряжения на горизонтальные пластины 3 вызывает вертикальное отклонение луча. Смещения луча на экране трубки пропорциональны приложенному напряжению, поэтому электронный осциллограф может использоваться в качестве электроизмерительного прибора.

Для исследования быстропеременных электрических процессов в осциллографе осуществляется развертка — равномерное перемещение электронного луча по горизонтали. Для того чтобы луч перемещался вдоль горизонтальной оси с постоянной скоростью, напряжение на горизонтально отклоняющих пластинах должно изменяться линейно во времени, а для возвращения луча в исходное положение напряжение должно очень быстро падать до нуля. Такая форма напряжения носит название пилообразной (рис. 176).



176

ЭЛТ состоит из электронной пушки, горизонтальных и вертикальных отклоняющих пластин-электродов и экрана.

В электронной пушке электроны, испускаемые подогревным катодом, проходят через управляющий электрод-сетку и ускоряются анодами. Электронная пушка фокусирует электронный пучок в точку и изменяет яркость свечения на экране. Отклоняющие горизонтальные и вертикальные пластины позволяют перемещать электронный пучок на экране в любую точку экрана. Экран трубки покрыт люминофором, который начинает светиться при бомбардировке его электронами.

Существуют два вида трубок:

1) с электростатическим управлением электронного пучка (отклонение Эл. пучка только лишь Эл.полем);

2) с электромагнитным управлением (добавляются магнитные отклоняющие катушки).

Основное применение ЭЛТ:

кинескопы в телеаппаратуре;

дисплеи ЭВМ;

электронные осциллографы в измерительной технике.

В телевизионных трубках вместо отклоняющих пластин применяется электромагнитная система отклонения (катушки), работа которой основана на действии силы Лоренца

Электронно-лучевая трубка является основной частью электронного осциллографа, широко используемого в науке и технике при изучении разнообразных быстропротекающих процессов (как электрических, так и неэлектрических после преобразования их в электрические).
Наименьшая длительность процессов, фиксируемых осциллографами, достигает 10^{-10} с.

Кроме трубки в осциллографе имеется генератор пилообразного напряжения (генератор развертки), источник питания электронной пушки, блоки с регуляторами фокусировки и яркости, а также некоторые другие вспомогательные приспособления и детали, улучшающие работу и расширяющие его возможности. В частности, для наблюдения слабых электрических сигналов в осциллографе предусмотрен усилитель, причём соответствующим регулятором можно изменять амплитуду наблюдаемых на экране колебаний до требуемых размеров.

К приемным электронно-лучевым трубкам относятся черно-белые и цветные кинескопы. Устройство черно-белого кинескопа ничем практически не отличается от устройства трубки с магнитным отклонением луча. В прожектор лишь добавлен ускоряющий электрод между модулятором и первым анодом. Промышленность выпускает самые разные кинескопы с размером экрана по диагонали от 8 до 67 см. Все современные кинескопы имеют прямоугольный экран с соотношением сторон в пределах 3:4 до 4:5, что примерно соответствует формату телевизионного изображения

Цветные кинескопы содержат три электронных прожектора и экран, покрытый люминофорами трех цветов – красного, синего и зеленого свечения. В настоящее время промышленность выпускает цветные кинескопы двух различных конструкций. У кинескопов с дельтовидным расположением прожекторов они расположены в вершинах треугольника, центр которого находится на оси кинескопа. У кинескопов с планарным расположением прожекторов они расположены в одной плоскости, один находится на оси кинескопа, а два других – по обе стороны от первого.

Развитие способов передачи изображений и измерительной техники сопровождалось дальнейшей разработкой и усовершенствованием различных электровакуумных приборов, радиоламп и электронографических приборов для осциллографов, радиолокации и телевидения.