**РЕФЕРАТ**

**"Счетчик Гейгера – Мюллера"**

2009

**Принцип действия**

а) Счетчик и схема включения. Счетчик Гейгера–Мюллера, наряду со сцинтилляционным счетчиком, в большинстве случаев применяется для счета ионизующих частиц и прежде всего в-частиц и вторичных электронов, возникающих под действием г-лучей. Этот счетчик состоит обычно из цилиндрического катода, внутри которого вдоль его геометрической оси натянута на изоляторах тонкая проволока, служащая анодом. Давление газа внутри трубки обычно составляет величину порядка 1Z10 атм.

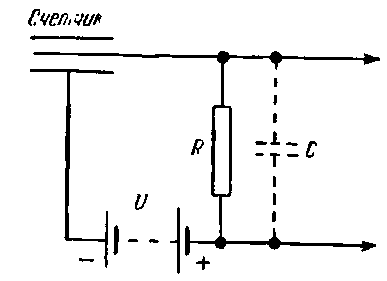
Принципиальная схема включения счетчика дана на рис. К счетчику подводят напряжение U, которое для наиболее употребимых счетчиков достигает 1000 в; последовательно со счетчиком включается сопротивление R. Падение напряжения, которое вызывает R при прохождении тока через счетчик, можно определить соответствующим измерительным устройством. Для этой цели чаще всего служит усилитель, для простых опытов можно также использовать струнный электрометр. Обозначенная пунктиром емкость С представляет собой суммарную емкость цепи, включенную параллельно сопротивлению R. Необходимо обращать внимание на то, чтобы на цилиндре всегда было отрицательное напряжение, так как при неправильном включении полюсов счетчик можно привести в негодность.

б) Механизм разряда. Действие описанной схемы существенно зависит от величины напряжения U. При очень низких напряжениях ионы, образующиеся в газе между катодом и анодом под действием заряженных частиц, двигаются к электродам так медленно, что часть их успевает рекомбини-ровать раньше, чем достигает электрода. Но при напряжении более высоком, чем напряжение тока насыщения U5, все ионы достигают алектродов, и, если постоянная времени цепи намного больше времени собирания ионов, то, благодаря сопротивлению R, возникает импульс напряжения, равный AU= = пе/С, который спадает со временем, как

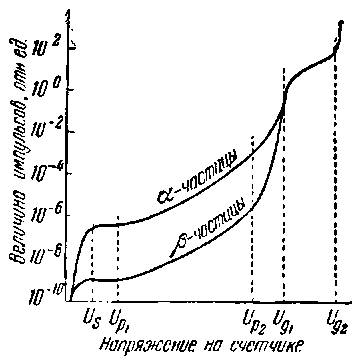
. В этой области простирающейся от U$ до напряжения Upt, счетчик действует, как обычная ионизационная камера.



При напряжении Upi напряженность поля в непосредственной близости от анода становится настолько большой, и» количество первичных ионов, образованных ионизирующими частицами, увеличивается вследствие ударной ионизации. Вместо з первичных электронов на анод приходит пА электронов. Коэффициент газового усиления А, увеличивающийся с возрастанием напряжения, в «пропорциональной области» между UPl и Up1 не зависит от первичной ионизации; поэтому числа импульсов напряжения, которые возникают, например, на сопротивлении Л под действием сильно ионизирующей б-частицы и одной быстрой в-частицы, будут относиться между собой, как первичные ионизации тех и других частиц. При напряжении UСЯ усиление A=i, а на верхней границе этой области может достигать значения 1000 и больше. При напряжении выше Uр, усиление А более не зависит от первичной ионизации, так что импульсы, возникающие от слабо и сильно ионизирующих частиц, все более выравниваются. При Ugl – пороговое напряжение, «плато счетчика» или «область Гейгера» – все импульсы имеют практически одинаковую величину независимо от первичной ионизации. При напряжениях более высоких, чем не очень четко определяемое напряжение Ug2, появляется большое количество ложных импульсов, которые в конце концов переходят в сплошной разряд.



Принципиальная схема включения счетчика



Амплитудная характеристика счетчика в зависимости от напряжения

Описанные ниже счетчики работают в области Гейгера между Ug1 и Ug2.

Очень сложный процесс разряда в области плато можно описать приблизительно следующим образом. Электроны, возникающие в процессе первичной ионизации, создают густое облако ионов в непосредственной близости от анода в результате совместного действия ударной ионизации и фотоионизации квантами ультрафиолетового света. Вследствие большой скорости движения появившиеся в этом облаке свободные электроны за очень короткое время попадают на анод, в то время как при величине коэффициента газового усиления 1000 более медленные положительные иопы еще незначительно удаляются от мест своего возникновения. Так как непосредственно вокруг проволоки возникает положительный пространственный заряд, то напряженность поля там в течение 10 ~6 сек или меньше уменьшается настолько, что ударная ионизация становится невозможной, и электронная лавина немедленно обрывается. Однако в течение IO-4 сек положительные ионы перемещаются к катоду и обычно при нейтрализации образуют там вторичные электроны. Эти фотоэлектроны движутся к аноду и там вызывают новую лавину; в результате могут появляться запаздывающие разряды или возникать колеблющийся коронный разряд. Появление ионов с отрицательными зарядами или метастабильных состояний атома может также быть причиной таких помех. Считается, что счетчик заряженных частиц отвечает своему назначению только в том случае, если удается подавить эти послеразряды. Для последнего необходимо или на достаточно длительное время понижать напряжение па счетчике после разряда, или подбирать подходящие газы для наполнения счетчика.

в) Гашение разряда. Напряжение на счетчике понижается при каждом его срабатывании на величину



Если сопротивление утечки Л достаточно большое, то эаряд, равный пАе, стекает так медленно, что напряжение вновь достигает порогового значения, необходимого для срабатывания счетчика, только после того, как исчезнут все положительные ионы; только после этого мертвого времени счетчик снова может считаться готовым к счету следующей частицы. Из опытов известно, что, например,

у счетчиков с воздушным наполнением необходимо иметь сопротивление Д>109 ом, так что падение напряжения AU достигается при паразитной емкости порядка 1011 ц с постоянной времени ВС>>0,01 сек. Таким образом, это устройство пригодно для измерений только при относительно незначительных частотах частиц. Значительно более короткое мертвое время может быть достигнуто с помощью гасящих схем, которые при каждом сосчитанном импульсе вырабатывают импульс напряжения, подающийся обратно на счетчик и снижающий на короткое время напряжения на нем.

Самогасящиеся счетчики, которые» дают разрядные импульсы продолжительностью только в несколько десятитысячных секунды, получают, наполняя счетчики многоатомным газом, например метаном, или добавляя такой газ к благородному газу, если последний вводится в счетчик. Эти газы, очевидно, получают энергию ионов, создающих помехи, или метастабильных атомов благородного газа при диссоциации; поэтому практически не появляется новых электронов и не возникает мешающих послеразрядов. Так как гасящий газ постепенно разлагается главным образом вследствие диссоциации, то такие счетные трубки становятся непригодными после IO7–IO9 разрядов.

г) Характеристика счетчика. Для проверки качества счетчика находят количество N импульсов напряжения, возникающих на сопротивлении R при постоянном облучении счетчика в зависимости от напряжения на счетчике U. В результате получают характеристику счетчика в виде кривой, показанной на рис. Напряжение U', при котором начинают наблюдаться первые импульсы, зависит от порогового напряжения применяемого измерительного прибора, которое в большинстве случаев составляет несколько десятых долей вольта. Как только высота импульса превысит пороговое значение, он будет сосчитан, и при дальнейшем увеличении напряжения N должно оставаться постоянным при дальнейшем увеличении напряжения до конца области Гейгера. Это, конечно, идеально не выполняется; напротив, в результате появления отдельных ложных разрядов плато имеет более или менее выраженный плавный подъем. В счетчиках, работающих в области пропорциональности, можно получить практически горизонтальное плато характеристики.

К хорошим счетчикам предъявляются следующие требования: плато должно быть возможно более длинным и ровным, т.е., если область между Ug, и Ug2 должна быть равна минимум 100 в, то увеличение числа импульсов должно составлять не более нескольких процентов на каждые 100 в напряжения; характеристика должна быть на протяжении длительного времени неизменной и в достаточной области независимой от температуры; чувствительность для в-частиц должна практически составлять 100%, т.е. каждая проходящая через чувствительные пространства счетчика в-частица должна быть зарегистрирована. Желательно, чтобы счетчик имел низкое пороговое напряжение и давал большие импульсы напряжения. Ниже мы подробно остановимся на том, в какой степени эти качества счетчика зависят от наполнителя, типа и формы электродов и схемы включения счетчика.

Б) Изготовление счетчиков

а) Общие положения. При изготовлении счетчиков необходимы большая осторожность и чистота; так, например, маленькие пылинки, или осколки электродов, или незначительные количества посторонних газов, например водяного пара, уже могут сделать счетчик непригодным. Но даже при выполнении этих требований не каждый счетчик оказывается удачным, так что в зависимости от различных обстоятельств счет частиц может происходить с большей или меньшей ошибкой. Важную роль при изготовлении счетчика играют отсутствие пыли, тщательная очистка электродов и стеклянной трубки от жира и других загрязнений и хорошая вакуумная техника. Для того чтобы трубка имела продолжительный срок службы, необходимо газ для наполнения неизменно сохранять чистым. С этой целью лучше всего применять стеклянные трубки с вплавленными электродами, которые возможно лучше отжигаются в вакууме. Так как не удается иногда избежать соединений на клею, то по крайней мере необходимо применять клей с низкой упругостью паров и незначительной растворимостью в органических газах, добавляемых к газу-наполнителю для гашения разряда.

Описываемые ниже счетчики при соответствующем напряжении могут работать как пропорциональные счетчики, если между счетной трубкой и счетным устройством включается линейный усилитель с достаточно большим коэффициентом усиления.

б) Наполнение газом. 1) Давление газа. Средняя удельная ионизация быстрыми электронами составляет для большинства газов примерно от 20 до 100 ионных пар на см пробега при атмосферном давлении; она обратно пропорциональна давлению. Для того чтобы такой электрон на пробеге длиной примерно 2 см в счетчике наверняка образовал хотя бы одну пару ионов и таким образом вызвал бы в счетчике сигнал, требуется минимальное давление примерно в 50 мм рт. ст. Верхний предел давления чаще всего устанавливается на этом уровне; при более высоком давлении рабочее напряжение на счетчике пришлось бы устанавливать слишком высоким.

2) Несамогасящиеся счетчики. В несамогасящихся счетчиках, подбирая подходящий газ для их наполнения и соответствующие параметры контура, можно довести мертвое время до значения, меньшего 10-4 сек. Удачными наполнителями являются благородные газы, которые, конечно, не должны быть исключительно чистыми; лучше к ним добавлять определенное количество другого газа для устранения метастабилъных состояний атомов благородного газа, появляющихся после разряда.

Удельная ионизация гелия очень мала, поэтому его следует использовать при давлении не менее 200 мм рт. ст.; гелий можно применять до атмосферного давления; поэтому он подходит для счетчика с очень тонкими окнами. Рабочее напряжение даже при атмосферном давлении составляет около 1100 в. Особенно подходящими газами являются аргон и неон, которые обладают высокой удельной ионизацией и относительно низким рабочим напряжением. Оказалось чрезвычайно удачным добавление до 10% водорода, а небольшое количество паров ртути может устранять метастабильные состояния; но добавления кислорода следует избегать вследствие опасности образования отрицательных ионов у катода. Если в качестве наполнителя применяется углекислый газ, то образования отрицательных ионов можно избежать, добавляя к нему CS2. В воздухе в большом количестве возникают отрицательные ионы, поэтому он мало подходит для наполнения счетчиков. Все газы необходимо тщательно осушать, так как в парах воды особенно легко образуются отрицательные ионы. Также следует избегать паров органических веществ; они могут возникать, например, при употреблении клея.

В качестве наполняющего газа в пропорциональных счетчиках применимы аргон с добавлением нескольких процентов CO2 и, в особенности, чистый метан, который при атмосферном давлении медленно и непрерывно поступает из стального баллона через редукционный вентиль в изолированную от воздуха трубку счетчика.

3) Самогасящиеся счетчики. У самогасящихся счетчиков мертвое время, как правило, составляет несколько десятитысячных долей секунды. Для изготовления качественных самогасящихся счетчиков необходимо, чтобы как наполнитель, так и гасящий газ были очень чистыми, так как уже незначительные загрязнения могут нарушить процесс гашения.

Наиболее часто в качестве наполнителя применяется смесь из аргона и 5–10% этилового спирта при общем давлении около 100 мм рт. ст. Чем выше содержание спирта, тем менее ровным является плато счетчика. Следы водяного пара или воздуха так же, как и небольшое загрязнение азотом, приводят к ухудшению плато. При наличии паров спирта, вследствие их диссоциапии под действием разрядов, плато счетчиков со временем ухудшается, а рабочее напряжение возрастает. Хорошие счетчики в заплавленных стеклянных трубках после IO8–10' разрядов выходят из строя и должны наполняться вновь. Счетчики, изготовленные с применением органического клея, еще менее устойчивы. Так как такие счетчики нельзя прокаливать, то, оставляя их на вакуумном насосе, пропускают через них разряд в течение 1–2 дней; вначале их наполняют только парами спирта, чтобы поверхность клея насытилась спиртом. Только в последующие дни происходит собственно наполнение их газом.

Кроме спирта, в качестве гасящей примеси можно применять также ряд других органических газов или паров, например метилаль 2), муравь-иноэтиловый эфир, метан, ксилол, четыреххлористый углерод, серный эфир, этилен и т.п. Срок службы счетчиков в зависимости от свойств паров, входящих в состав наполнителя, составляет от 10' до IO9 разрядов. Метан можно применять также как самостоятельный наполнитель счетчика.

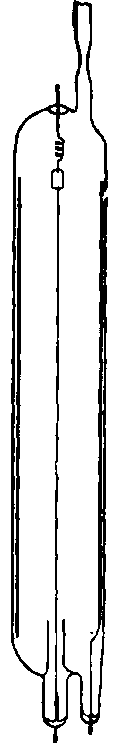
При диаметре анодной проволоки 0,1 лежи давлении газа от 50 до 120 мм рт. ст. пороговое напряжение имеет величину в диапазоне между 800 и 12U0 в, если в счетчике применяются в качестве гасителей пары органических веществ.

Из двухатомных газов можно применять в качестве гасящей добавки к благородным газам только галоиды; эта добавка должна составлять только несколько тысячных долей, так как в противном случае будут образовываться отрицательные ионы, нарушающие процесс гашения. Так как молекулы галогепов не распадаются, то срок службы счетчика в этом отношении не ограничен. Особенно подходящим для наполнения счетчиков является по данным Либ-зона и Фридмана неон, который добавляется к смеси из четырех частей аргона с одной частью хлора в количестве 0,1–1%. При общем давлении от 200 до 500 мм рт. ст. величина рабочего напряжения лежит в диапазоне от 250 до 600 в. Аргон с добавкой нескольких тысячных долей брома или неопа с хлором дает также низкое пороговое напряжение; однако плато в этом случае оказывается менее хорошим.

в) Катоды. В качестве материала для катодов наиболее пригодна медь; кроме того, можно применять графит, серебро, золото и платину; они применяются, в частности, в стеклянных счетчиках в виде тонких покрытий. Можно применять также нержавеющую сталь и латунь. Металлические трубки хорошо полируются внутри и перед монтажом тщательно очищаются спиртом или ацетоном. Обточенные на токарном станке или отшлифованные металлы обнаруживают непосредственно после обработки самопроизвольную электронную эмиссию, постепенно исчезающую. Поэтому рекомендуется механически обработанные катоды перед сборкой счетчика прогреть или оставить лежать на воздухе в течение суток.

Для надежной очистки медных катодов, в частности, в не-самогасящихся счетчиках применяется смесь из одинаковых частей 50% азотной кислоты и 90% серной кислоты, которая разбавляется 5–10 частями воды. После обработки этим составом катод промывают 5–10 раз водой, в конце – дистиллированной; затем прогревают трубку примерно в течение 2 часов в высоком вакууме при температуре 350–400° С. Если наполнитель содержит примесь водорода, то медные катоды в водороде восстанавливаются; если же постоянной составной частью наполнителя является кислород, то очищенные катоды после интенсивного нагревания в воздухе или кислороде покрываются тонкой пленкой окиси. Рекомендуется также нагревание в атмосфере окиси азота до образования пленки, окрашенной в темно-пурпурный цвет.

Некоторые металлы, например алюминий и свинец, иногда трудно применять в качестве материала для катодов. Но если, несмотря на это, ими все же приходится пользоваться, то изнутри трубку покрывают аквадагом или тонким слоем меди, отлагая его испарением в вакууме. Если необходимо в алюминиевую трубку запаять латунные пробки, то концы трубки плакируют медью.



Оптимальная чувствительность счетчика для исследования рентгеновских и г-лучей достигается тем, что толщину стенки катода делают примерно равной длине пробега вторичных электронов в данном материале. Чувствительность счетчика для излучения, т.е. доля подсчитанных счетчиком квантов по отношению ко всем поступающим в счетчик квантам, зависит от материала катодов и от энергии излучения. Чувствительность алюминиевых катодов уменьшается от 2% при энергии 10 кэе до примерно 0,05% при энергии 100 кэе и увеличивается затем снова на 1,5% при 2,6 Aiae. Чувствительность медных или латунных счетчиков при 10 кэб и 2,6 Мэв приблизительно одинакова; минимум ее лежит между 200 и 300 кэе и составляет около 0,1%. Катоды из тяжелых металлов, например из свинца или золота, имеют чувствительность, которая неравномерно уменьшается от 3–4% при 10 кэе до примерно 0,8% при 600 кэе, а затем снова возрастает до 2% при 2,6 Мэв Аноды. В качестве анодов лучше всего применять вольфрамовую проволоку с одинаковым диаметром по всей длине. Также можно успешно пользоваться проволоками из других металлов, например ковара, нержавеющей и обычной стали. Так как рабочее напряжение возрастает с увеличением диаметра проволоки, то необходимо применять по возможности самую тонкую проволоку: нижняя граница диаметра лежит около 0,08 мм; при диаметре, большем чем 0,3 мм, хорошего плато уже не получается.

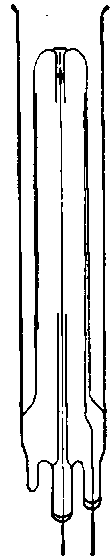
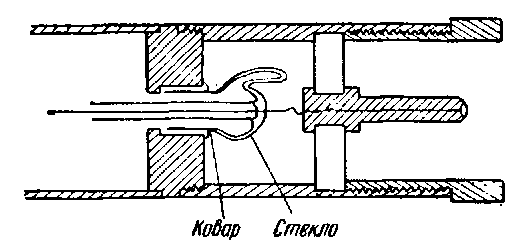
Чтобы вплавить проволоку в стеклянную стенку счетчика или в стеклянный изолятор, к обоим концам проволоки приваривают точечной сваркой соответствующие отрезки проволок толщиной 0,5–1 мм для вплавления в стекло. Перед установкой в счетчике проволока должна быть тщательно очищена; ни в коем случае нельзя дотрагиваться до проволоки пальцами. Лучше всю ее прокалить в высоком вакууме или в атмосфере водорода. Если конструкция счетчика такова, что оба конца проволоки выступают наружу, то проволока прокаливается непосредственно перед наполнением счетчика газом. Чтобы получить определенную эффективную длину анода, оба конца проволоки заключают в тонкие стеклянные капилляры или в металлические штифты, которые немного выступают внутрь катода; можно ограничить проволоку по длине при помощи наплавленных стеклянных шариков или стеклянных стержней.

В пропорциональных счетчиках для предотвращения небольших разрядов в направлении к аноду по поверхности изолятора рекомендуется ввод анода окружит, защитным кольцом, потенциал которого постоянен и примерно равен потенциалу анода.

Стеклянный счетчик

д) Форма счетчиков. Ниже даются указания Для самостоятельного изготовления счетчиков.

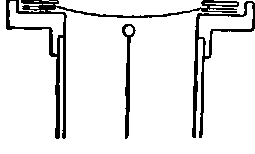
1) Размеры. Счетчики могут быть весьма различными по форме и величине, что объясняется большим разнообразием их применений. В большинстве случаев применяются счетчики с катодом диаметром между 5 и 25 мм и анодными проволоками длиной от 2 до 20 Cjh; при исследованиях, например, космических лучей употребляются значительно более длинные счетчики. Вообще, длина счетчика должна быть во много раз больше его диаметра. Так как мертвое время счетчика увеличивается приблизительно пропорционально квадрату диаметра катода, лучше вместо одного счетчика большого диаметра применять несколько включенных параллельно счетчиков малого диаметра; например, вместо одного г-счетчика диаметром 3 см можно применять комплекс из семи счетчиков, каждый диаметром в 1 см, которые вплавляются в одну стеклянную трубку и имеют общее газовое наполнение. В очень длинных самогасящихся счетчиках можно получить более короткое мертвое время, если анодную проволоку разделить на несколько частей, наплавив на нее маленькие стеклянные бусинки диаметром приблизительно 0,5 мм.



Ввод в металлический счетчик с впаянной металлической пробкой, стеклянным изолятором и металлическим цоколем.

Жидкостный счетчик

2) Стеклянные счетчики. Простейший стеклянный счетчик показан на рис. В качестве катода служит тонкостенная металлическая или угольная трубка, вплавленная в стеклянную трубку, с концами, хорошо закругленными или выгнутыми немного наружу; можно также отложить на внутренних стенках стеклянной трубки тонкий слой металла, применяя для этого испарение в вакууме или химическое осаждение. В частности, для этой цели пригодны также тонкие графитовые слои, которые получают, нанося слой аквадага. Перед нанесением металлического или графитового слоев необходимо стеклянную трубку весьма тщательно очистить с помощью раствора двухромовокислого калия в серной кислоте или другим подобным очистителем, так как необходимо, чтобы слой хорошо прилип к стеклу; в противном случае, если от слоя будут отделяться маленькие пленки, счетчик быстро придет в негодность. Подвод к катоду изготавливается в виде тонкой вплавленной в стеклянную трубку проволоки. У трубки из мягкого натрового стекла с толщиной стенки менее 0,8 мм графитовый слой можно нанести на стеклянную трубку снаружи: проводимость тонких слоев стекла достаточна, чтобы ток мог пройти через стенку.



Счетчик с тонким слюдяным дном

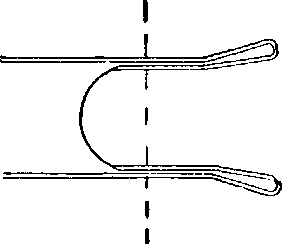
Так как большинство катодов уже под действием видимого света испускает небольшое количество фотоэлектронов, которые приводят счетчик в действие, то необходимо при измерениях тщательно защищать счетчики экранами от действия световых лучей. Стеклянные счехчики лучше всего покрыть светонепроницаемым хорошо изолирующим лаком или церезином, в который вводят непрозрачный краситель, растворимый в жирах.

3) Металлические счетчики. Наиболее просто изготовляется счетчик из металлической трубки, оба конца которой закрываются хорошо подогнанными изоляторами, приклеенными пицеином или, если они будут работать при высокой температуре, аральдитом. В изоляторы по центру устанавливаются просверленные по длине латунные штифты толщиной от 3 до 4 мм с хорошо закругленными краями, выступающие на несколько мм внутрь трубки. Анодная проволока протягивается через отверстия в штифтах и припаивается на их наружных концах. Кроме того, в одном из изоляторов устанавливается тонкая стеклянная трубочка для откачки и наполнения счетчика. Эбонит легко выделяет газ, который быстро приводит счетчик в негодность; поэтому такие изоляторы должны применяться только в тех случаях, когда срок службы счетчика не имеет значения. Лучше применять плексиглас, тролитул и подобные материалы; однако более подходящими материалами для изоляторов являются стекло или керамические вещества, такие, как фарфор, стеатит и т.п. При стеклянных изоляторах можно избежать применения клея, если пользоваться стеклянными трубками с приплапленнымп к ним металлическими трубками. Эти стеклянные трубки можно впаять металлическими концами в латунные пробки, которыми заканчивается металлический счетчик. Анодная проволока вплавляется так же, как в стеклянные трубки. На рис. кроме того, показан металлический цоколь, приделанный к счетчику, со штекерным штифтом для соединения с экранированным кабелем, который ведет к усилителю. Керамические изоляторы можно по краям покрыть медью и припаять к металлическим катодам.

4) Тонкостенные счетчики для в-частиц. Вследствие незначительной проникающей способности в-частиц для их исследования необходимы очень тонкостенные счетчики. в-частицы с энергией 0,7 Мэв уже не пропинают через стекло или алюминий толщиной 1 мм или через медь толщиной 0,3 мм. При диаметре трубки от 10 до 15 мм еще можно откачивать стеклянные счетчики и алюминиевые, если стенка очень равпомерна по толщине. Тонкие алюминиевые трубки лучше всего изготовлять из дюралюминия, при этом для повышения устойчивости на концах трубки можно укрепить толстые фланцы. Если в состав газового наполнителя входят галогены, то рекомендуется в качестве катода в тонкостенную стеклянную трубку вставить почти вплотную к ее стенкам, проволочную спираль из нержавеющей стали; спираль должна иметь шаг, равный нескольким мм, и состоять из трех идущих параллельно проволок.

Счетчик для исследования жидкостей показан на рис. Тонкостенная стеклянная трубка приплавляется к наружной стеклянной трубке счетчика так, чтобы жидкость можно было вводить В узкое промежуточное пространство между трубками. При этом жидкость должна заполнить это пространство до верхнего конца трубки счетчика. Для того чтобы повысить эффективность счета электронов с малой энергией, в трубке счетчика необходимо иметь очень тонкое окно, например из листочка слюды, как это показано на рис. Слюдяную фольгу кладут на нагретый и равномерно смазанный клеем фланец, укрепленный на конце трубки счетчика, и прижимают ее горячим металлическим кольцом, также смазанным клеем. Слюдяное окно диаметром от 20 до 25 мм устойчиво до толщипы приблизительно от 2 до 3 мг/см2, т.е. округленно 0,01 мм. Проволока толщиной 0,2 мм укрепляется в счетчике только одним концом; непосредственно позади окна она оканчивается стеклянной бусинкой диаметром 1–2 мм.

Стеклянное окно можно изготовить толщиной от 10 до 15 мг\смг. Длн этого стеклянную трубку нагревают с заплавленного конца на длине 1–2 см до почти полного размягчения; затем ее заплавленный конец очень сильно нагревают и возможно быстрее втягивают в трубку воздух так, что она приобретает форму, показанную на рис. Внутренняя часть трубки сплавляется с наружной стенкой; затем трубка откалывается примерно по месту, показанному на рисунке штриховой линией, и край трубки оплавляется.



Изготовление тонкого стеклянного окна

В) Усилители для счетчиков

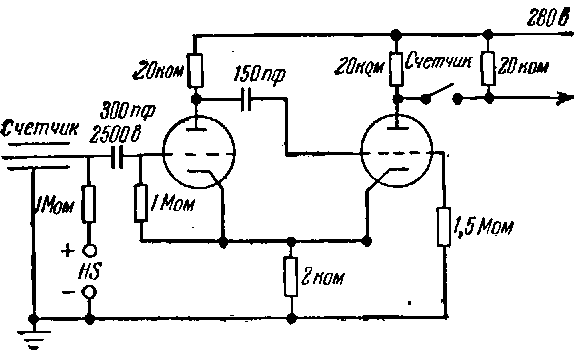
а) Входной контур. Для регистрации и счета числа импульсов напряжения, появляющихся на сопротивлении R счетчика, разработано большое количество схем, из которых здесь будут описаны только некоторые наиболее простые.

У самогасящихся счетчиков импульсы подводятся к измерительной схеме или непосредственно, или через предварительный усилитель, который в наиболее простом случае состоит из одного пентода или же из двух триодов с резистивно-емкостной связью между каскадами. Поступающие в схему импульсы превращаются в импульсы, равные по величине и форме. Для этого может, например, служить тиратрон в триггерпой схеме, в которой конденсатор Сз разряжается через тиратрон, как только сеточное напряжение под действием положительных импульсов превысит запирающее напряжение. Отрицательное запирающее напряжение составляет обычно примерно 5% от анодного напряжения; чтобы обеспечить надежное гашение, сеточное напряжение устанавливают на 5–10 в ниже напряжения запирания тиратрона. Тиратроны, наполненные гелием, обладают временем срабатывания около 10 ~ 5 сек, а наполненные аргоном – несколько большим временем.

Тиратроны очень дорога, поэтому в большинстве случаев, особенно когда требуется высокая разрешающая способность, применяют триггеры на вакуумных электронных лампах. Пример такого

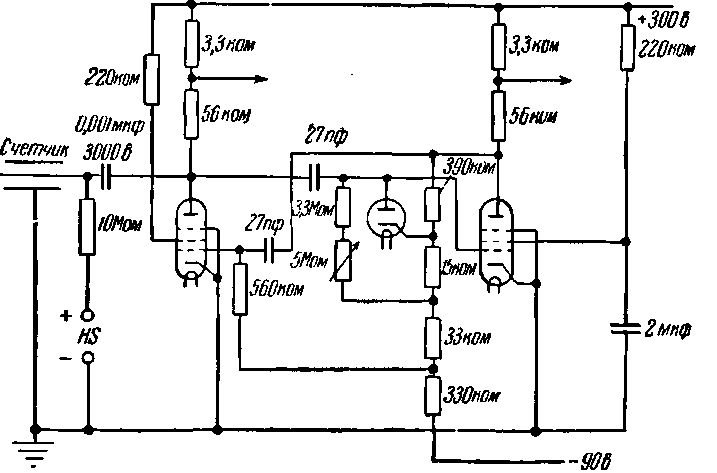
устройства показан на рис. Оба триода имеют общее сопротивление в цепи катода; в устойчивом состоянии через первый триод протекает ток, в то время как второй триод заперт напряжением на сетке, отрицательным относительно катода. Отрицательный импульс от счетчика, усиленный первым триодом, подается в положительной полярности на сетку второго триода и отпирает лампу. Первый триод вследствие катодной связи запирается и остается в этом состоянии до того момента, пока положительный заряд на емкости в цепи второй сетки не стечет через сопротивление утечки, в результате чего схема возвратится в свое устойчивое состояние. Это происходит при каждом сосчитанном импульсе, величина которого превышает пороговое значение приблизительно на 1 в; на аноде второго триода отрицательный прямоугольный импульс величиной в 50 в и продолжительностью 100 мксек служит для управления пересчетной схемой. В качестве усилительных ламп в этой схеме лучше всего применять двойные триоды типа 6SN71), однако можно, конечно, использовать и соответствующие отдельные триоды.

Подобная схема, служащая одновременно гасящим контуром, показана на рис. Здесь в устойчивом состоянии ток идет через вторую лампу, в то время как первая лампа заперта.



Входной мультивибраторный контур

Импульс от счетчика через конденсаторы емкостью 0,001 мкф и 27 пф поступает на сетку второй лампы и приводит к «опрокидыванию», так что при этом на аноде первой лампы возникает отрицательный прямоугольный импульс примерно в 270 в, который подводится в качестве гасящего импульса к нити счетчика через конденсатор связи, в результате ее напряжение падает до нуля. Длительность прямоугольных импульсов регулируется в пределах 150–430 мксек с помощью переменного сопротивления 5 Мом. Отрицательный импульс для управления последующей пересчетной схемой снимается с делителя напряжения в цепи анода первой лампы, в то время как положительный импульс с делителя напряжения второй лампы используется для управления механическим счетчиком.



Входной контур в качестве цепи гашения

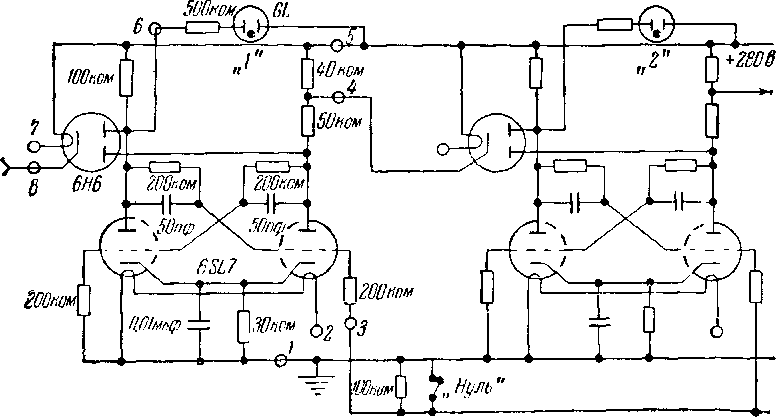
По данным Ф. Дросте в схеме, приведенной на рис. можно также сделать гасящий контур, если катоды счетчика не заземлять, а соединить с анодом входной лампы; таким путем получают гасящий импульс величиной не менее 200 в.

б) Пересчетные схемы и механические счетчики. Для счета импульсов применяются обычные электромеханические счетчики. Однако для согласования сопротивления катушки счетчика с выходным сопротивлением оконечной лампы усилителя необходимо увеличить число витков катушки так, чтобы ее сопротивление составляло несколько тысяч ом. Наиболее просто использовать для этой цели телефонный счетчик, у которого катушка с относительно малым числом витков заменена катушкой с числом витков от 5000 до 10 000. Счетчик вместе с конденсаторами емкостью от 0,01 до 0,1 включают в анодную цепь тиратрона или выходной лампы, мощность которых достаточна для работы счетчика. Положительный импульс от делителя напряжения в предыдущей схеме подается на тиратрон, в то время как оконечными триодом или гептодом можно управлять также отрицательным импульсом, если ток покоя этих ламп выбран таким образом, что якорь счетчика в состоянии покоя притянут, а при появлении импульса освобождается.

Вследствие сравнительно большой инерции срабатывания механических счетчиков уже при скоростях счета около 100 импульсов в минуту возникают значительные просчеты.

Механические счетчики с малой инерцией можно изготовить только при больших затратах. Значительно проще достичь надежных результатов, если перед счетчиком включить пересчетный контур, который передает на механический счетчик, скажем, только каждый второй импульс. Если включить последовательно з таких контуров, то к механическому счетчику поступит только каждый 2п-й импульс. На рис. приведены две широко применяемые пересчетные схемы. Контур, использующий принцип симметричного мультивибратора, имеет, в отличие от несимметричных схем, показанных на рис. два устойчивых состояния, в которых, смотря по обстоятельствам, одна лампа запирается, в то время как другая проводит ток. Двойные диоды включены в схему для отсечки положительных импульсов. Их катоды находятся под потенциалами анодов ламп триггера, поэтому питание нити накала подогретых катодов этих диодов должно осуществляться от отдельного источника. Отрицательный импульс подается на анод только запертого триода. Потенциал анода другого триода значительно ниже потенциала катода диода и через разделительный конденсатор поступает на сетку отпертого триода. Этот триод запирается, и схема переходит во второе устойчивое состояние, в котором она остается до прихода следующего счетного импульса. Несколько таких триггеров соединяют последовательно так, как это показано на рисунке. Установка нуля пересчетной схемы осуществляется разрывом на короткое время ключа, обозначенного на схеме словом «нуль». Таким образом, перед началом счета вторые лампы триггеров оказываются открытыми. На неоновых лампах GL, соединенных с анодами первых ламп триггеров, нет напряжения. При первом импульсе через первую лампу первого триггера проходит ток, неоновая лампа «1» зажигается, но возникающий на втором аноде положительный импульс не передается на второй триггер. При втором импульсе первый триггер снова возвращается в его начальное состояние, неоновая лампа «1» гаснет, отрицательный импульс на втором аноде вызывает опрокидывание второго триггера, и неоновая лампа «2» зажигается.

Припишем неоновым лампам следующих друг за другом триггеров числа 1, 2, 4, 8, 16 и т.д. Тогда полное число импульсов, поступивших на вход з-ячеечной счетной схемы, последняя из ячеек которой управляет через конечную лампу механическим счетчиком, будет равно показанию этого счетчика, умноженному на 2» плюс число, показываемое горящими неоновыми лампочками. Так, например, если горит первая, четвертая и пятая лампочки, то надо прибавить число 25.



Пересчетная схема

Простые декадные счетные схемы можно собрать и из имеющихся в продаже специальных счетных ламп, таких, как ElT1 декатрон, трахотрон или ЕЖ10.

в) Индикатор среднего значения. Можно получить отсчет, пропорциональный среднему сосчитанному числу импульсов в единицу времени, если, например, измерить средний анодный ток тиратрона в схеме, изображенной на рис. Инерцию прибора, которая необходима для уменьшения колебаний тока, связанных со статистическим распределением импульсов, можно получить, если гальванометр с последовательно включенным сопротивлением в несколько ком зашунтировать большим конденсатором с возможно большим сопротивлением изоляции. Этот прибор градуируется в имп\мин путем сравнения его показаний с показаниями пересчетной схемы. Кроме того, предусматривают ряд конденсаторов Cs, C4 и сопротивлений Rs различной величины, которые с помощью переключателя могут включаться по выбору. Таким путем можно изменять область

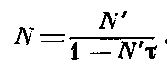
измерений в широких пределах. Если вместо тиратрона пользуются обычной выходной лампой, то анодный ток покоя, протекающий через гальванометр, должен быть скомпенсирован. Другие схемы для отсчета среднего числа импульсов в минуту можно найти в литературе.

г) Стабилизация напряжения. Напряжение на счетчике для точных измерений надо поддерживать как можно более постоянным. Это осуществляется, например, путем стабилизации рядом последовательно включенных маленьких ламп тлеющего разряда, потребляющих мало тока. Усилитель счетчика часто работает удовлетворительно также с нестабилизированным напряжением; однако лучше стабилизировать его анодное напряжение.

Г) Статистические ошибки и их коррекция

а) Статистические ошибки. Если за определенное время подсчитано N импульсов, то средняя статистическая ошибка этого результата равна ±Х~Н. Вследствие наличия в окружающей среде космических лучей и радиоактивности каждый счетчик даже при отсутствии источника излучения дает небольшой фон. Этот фон можно значительно уменьшить путем экранирования счетчика со всех сторон слоем свинца или железа толщиной в несколько сантиметров. При каждом измерении фон необходимо предварительно определять. Если за одинаковое время при наличии источника излучения подсчитано N импульсов, а без него N0 импульсов, то эффект излучения составляет N–N0 импульсов, а средняя статистическая ошибка этого значения равна

б) Поправка на ограниченную разрешающую способность. Если наиболее инерционный элемент счетного устройства имеет время разрешения ч секунд и средняя скорость счета равна N' имп/сек, то истинная средняя скорость счета



Следовательно, например, при среднем значении N' = = 100 имп/сек и времени разрешения ф = 10~s сек просчет составляет 10% полного числа импульсов.