Доклады Академии наук СССР
1955. Том 101, № 4

ФИЗИКА

Б. В. БАЕВ, П. Е. ВОРОТНИКОВ, Б. М. ГОХБЕРГ, Н. И. СИДОРОВ, А. В. ШУФ и Г. Б. ЯНЬКОВ

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР В СЖАТОМ ГАЗЕ

(Представлено академиком А. П. Александровым 17 XI 1954)

Для работы с пучком ускоренных ионов при сравнительно малых энергиях — порядка нескольких миллионов электронвольт — использование электростатического генератора по сравнению с другими ускорителями имеет некоторые преимущества, к которым в первую очередь следует отнести следующие: а) сравнительную простоту устройства, б) постоянство пучка ускоренных ионов во времени, в) однородность пучка ионов по энергиям. Рациональная конструкция электростатического генератора для ускорения заряженных частиц в основном определяется вакуумной ускорительной трубкой. Для малых мощностей — малых токов в ускорительной трубке — удобным типом электростатического генератора является ленточный генератор (типа ван-де-Граафа), в котором электрический заряд к высоковольтному электроду транспортируется бесконечной изолирующей лентой.

В течение последних лет в нашей лаборатории для работы с ускоренными ионами был построен высоковольтный электростатический генератор, работающий в атмосфере сжатого газа. Схема построенного нами электростатического генератора приведена на рис. 1.

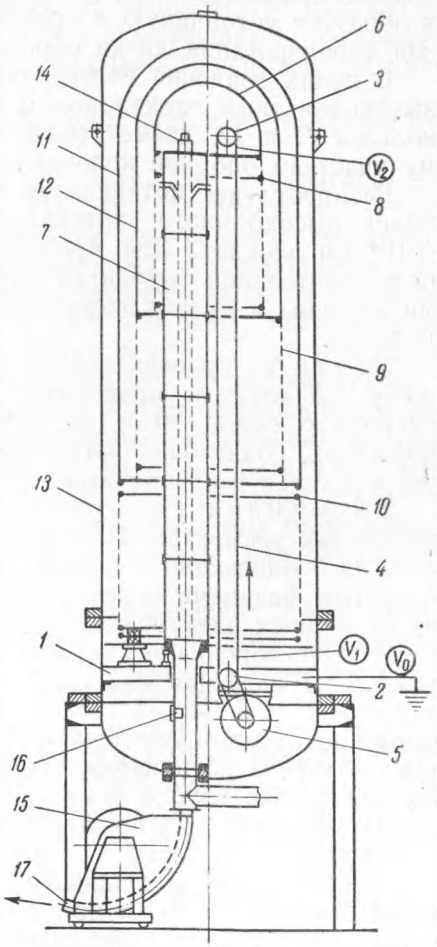


Рис. 1

В разборном стальном баке *13* диаметром 1400 мм и длиной 5000 мм установлена опорная рама *1*, на которой смонтирован генератор. Бесконечная лента *4*, вращающаяся на роликах *2* и *3*, приводится в движение асинхронным двигателем *5*.

У нижнего ролика от источника напряжения V_1 (равного нескольким десяткам киловольт) лента заряжается. У верхнего ролика, помещенного внутри металлического высоковольтного электрода *6*, заряд сни-

мается с ленты и заряжает электрод до высокого потенциала V_2. Ускорительная трубка *7* расположена параллельно ленте. Система высоковольтного электрода поддерживается трехступенчатой опорной колонной, состоящей из металлических дисков *8*, *9*, *10*, соединенных изоляторами.

Заряженные частицы, образующиеся в ионном источнике *14*, проходя по трубке, ускоряются в ней и затем на выходе из генератора попадают в 90° магнит *15*, который служит для разделения ускоренных частиц по массам.

Ниже дается более подробное описание важнейших узлов генератора.

Опорная колонна состоит из трех участков, каждый из которых имеет высоту в 1 м и собран из 16 алюминиевых дисков. Диаметр дисков верхнего участка 700 мм (равен диаметру высоковольтного электрода), среднего 930 мм и нижнего 1160 мм. Все диски имеют ряд отверстий для прохода ленты, ускорительной трубки и штоков управления ионным источником. Диски разделены ребристыми фарфоровыми изоляторами с наклеенными (клеем БФ-4) стальными наконечниками, при помощи которых вся колонна последовательно свинчивается и образует устойчивую и сравнительно жесткую опору. Для уменьшения коронирования диски обрамлены трубками.

В целях создания более однородного электрического поля между высоковольтным электродом и баком установлены два металлических колпака *11* и *12*, диаметры которых соответствуют среднему и нижнему участкам опорной колонны.

Распределение потенциалов в генераторе осуществляется при помощи высокоомного потенциометра из 96 сопротивлений порядка $4 \cdot 10^8$ ом каждое. Для предохранения изоляторов опорной колонны (и ускорительной трубки) от случайных перенапряжений между дисками колонны и между электродами трубки установлены шаровые разрядники.

Лента из прорезиненного перкаля имеет ширину 300 мм и толщину 1,5 мм; она приводится в движение от нижнего ролика *2* со скоростью около 20 м/сек. Ось верхнего ролика *3* установлена на пружинах, создающих натяжение ленты; положение оси автоматически регулируется и обеспечивает правильный ход ленты.

Вакуумная ускорительная трубка состоит из 96 ускорительных элементов. В целях удобства монтажа трубка изготовлялась из 6 одинаковых секций (длиной по 500 мм), соединенных друг с другом фланцами на резиновых уплотнениях. Каждая секция состоит из 16 медных электродов, имеющих форму дисков с выдавленными в середине воронками (диаметр отверстия воронки 120 мм). Электроды разделены фарфоровыми кольцами с ребристой внутренней и внешней поверхностями. Все детали секции склеены клеем БФ-4. Указанная форма электродов обеспечивает однородное поле в трубке и экранирует внутреннюю поверхность фарфора от пучка заряженных частиц. Ускорительная трубка откачивается 500-литровым диффузионным масляным насосом, который позволяет создать в ней вакуум порядка $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Распределение потенциалов по элементам ускорительной трубки осуществляется при помощи высокоомного потенциометра, общего с системой распределения потенциалов по опорной колонне.

Ионный источник установлен внутри высоковольтного электрода на верхнем фланце ускорительной трубки. В связи с тем, что для большинства исследований желательно иметь пучки с высоким содержанием атомарных ионов, мы использовали высокочастотный ионный источник. Описание источника, дающего до 80% атомарных ионов, приводится в работе [1]. Укажем только, что источник, работая

на водороде при расходе газа 1—2 см³/час, дает суммарный ионный ток порядка 100 μа. Для питания источника внутри высоковольтного электрода установлен генератор мощностью в 500 вт, вращающийся от верхнего ролика *3*. Управление источником осуществляется при помощи плексигласовых штоков, проходящих через опорную колонну. Штоки приводятся в движение сельсинами. На каждом штоке используются независимо поступательное и вращательное движения.

Система стабилизации напряжения генератора, примененная нами, состоит в следующем. Пучок ускоренных ионов после отклоняющего магнита *15* проходит через «щелевой прибор» *17* (горизонтальная щель между двумя изолированными пластинами). При хорошо сфокусированном пучке на каждую из пластин попадает небольшая часть пучка ионов. Сигналы с обеих пластин поступают на дифференциальный усилитель постоянного тока, который управляет током электронной пушки *16*. Если напряжение генератора меняется, радиус поворота пучка в магнитном поле также меняется, и ионный ток на одну из пластин увеличивается, а на другую уменьшается. Дифференциальный усилитель меняет режим электронной пушки таким образом, что изменение электронного тока (обеспечивающего дополнительную нагрузку генератора) приводит к возвращению напряжения генератора к исходному. При этом пучок возвращается в середину щели. Эта система легко обеспечивает стабильность напряжения в пределах 0,02—0,03%.

Подробное описание системы стабилизации дается в отдельной статье [2].

Работа генератора в сжатом газе. Бак генератора рассчитан на рабочее давление 8 ати. На этом давлении мы остановились по следующим соображениям. При повышении давления в реальных условиях, когда существуют большие неоднородности электрического поля, имеет место значительное отступление от линейного роста пробивного напряжения; чем больше давление, тем менее эффективно дальнейшее его повышение. Таким образом, при использовании в качестве изоляции сжатых газов не следует чрезмерно повышать давление, так как это ведет к утяжелению бака и к усложнению конструкции. С этой точки зрения благоприятно использование газов с повышенной электрической прочностью. Мы предполагали вести работу со смесями азота с элегазом (SF_6). Однако до настоящего времени мы не имели необходимого количества элегаза и потому были вынуждены вести работу с генератором в сжатом азоте или смеси азота с углекислым газом.

Генератор находится в эксплуатации и при давлении 8 ати (в смеси азот — углекислота) развивает напряжение 2,8 Мв (при работающей ускорительной трубке). Хорошая фокусировка ионного пучка позволяет иметь на выходе из генератора пучок диаметром ~ 1 мм при токе ионов в пучке ~ 80 μа.

Проведенные в нашей лаборатории работы по эксплоатации малого электростатического генератора дают основание полагать, что использование смеси азота с элегазом позволит существенно повысить рабочее напряжение описанного генератора.

Институт физических проблем
им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР

Поступило
15 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. М. Морозов, ДАН, **102**, № 1 (1955). [2] В. Г. Бровченко, Б. М. Гохберг, В. М. Морозов, ДАН, **101**, № 6 (1955).