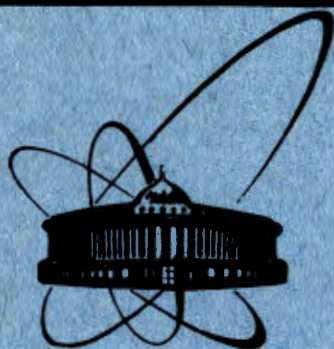


84-769



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

13-84-769

В.В.Карпухин, А.В.Куликов*, С.В.Трусов*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ГАЗА

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

* Научно-исследовательский институт
ядерной физики Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова

1984

В экспериментах по исследованию релятивистских позитрониев используются тонкостенные газовые черенковские счетчики большого объема^{1/1}. Счетчики заполняются фреоном-12 при нормальном давлении и затем длительное время эксплуатируются без смены газа. При негерметичности корпуса возможно проникновение воздуха в объем счетчика из-за колебаний атмосферного давления, что приводит к изменению состава газа и, следовательно, показателя преломления.

Для выявления этого эффекта было разработано устройство для контроля показателя преломления газа /УКПП/, позволяющее измерять процентное содержание воздуха во фреоне. Принцип действия прибора основан на регистрации изменения емкости конденсатора при изменении диэлектрической постоянной газовой смеси между его обкладками^{1/2}. Емкость конденсатора C связана с диэлектрической постоянной ϵ и показателем преломления газа n соотношением $C = \epsilon C_0 = n^2 C_0$, где C_0 - емкость конденсатора в отсутствие диэлектрика. Значения ϵ и, соответственно, n зависят от типа газа, его давления и температуры.

При нормальном давлении и $t = 0^\circ\text{C}$ для фреона-12 $n = 1,00115$, для воздуха $n = 1,00029$. Отсюда видно, что для определения загрязнения воздухом фреонового наполнения счетчика с точностью 1% необходимо регистрировать относительное изменение емкости с точностью $\sim 10^{-5}$, что предъявляет повышенные требования как к электронной схеме измерения, так и к механической конструкции.

1. КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

Устройство состоит из узла с конденсаторами, электронного блока измерителя разности емкостей и газовой системы.

Конструкция узла с конденсаторами показана на рис.1. В герметичной толстостенной коробке 1 из алюминия со съёмной крышкой 2 имеются два отдельных идентичных отсека с плоскопараллельными конденсаторами. Один из отсеков предназначен для заполнения чистым фреоном, второй - контролируемым газом из объема счетчика. Конденсатор 4 представляет собой две пластины из нержавеющей стали размером $120 \times 120 \times 8$ мм³, между которыми по углам вставлены плексигласовые прокладки 5 толщиной $\sim 0,3$ мм, задающие зазор. Пластины склеены с прокладками эпоксидной смолой. Нижняя пластина крепится к корпусу коробки и находится с ним в электрическом контакте. Тefлоновые втулки 6 служат для уменьшения теплового контакта конденсатора с корпусом и ослабления

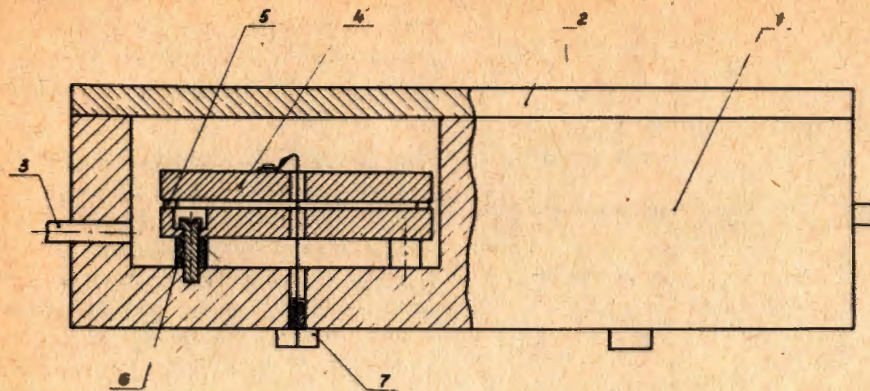


Рис.1. Конструкция узла с конденсаторами.

передачи на конденсатор механических деформаций корпуса. Конденсатор подключается к электронной схеме через герметизированный разъем 7. Емкость конденсатора - около 450 пФ.

Каждый из отсеков коробки подсоединен с помощью патрубка 3 к газовой системе, позволяющей подключать форвакуумный насос, раздельно заполнять отсеки фреоном, воздухом или газом из счетчика и измерять давление образцовым вакуумметром. В качестве материала для прокладок был выбран именно плексиглас, так как в комбинации с пластинами из нержавеющей стали он обеспечивает наименьший температурный коэффициент изменения емкости. Несложный расчет показывает, что для температурной стабильности величины емкости плоского конденсатора с задающими зазор прокладками коэффициенты линейного расширения материалов прокладок и пластин должны относиться как 2:1. В случае выбранных материалов это отношение приблизительно выполняется^{1/3}.

Все устройство, включая коробку с конденсаторами, газовую систему и электронный блок, расположено в едином корпусе, на передней панели которого находятся вентили газовых коммуникаций, образцовый вакуумметр и лицевая панель электронного блока.

Отметим, что полная замена фреона на воздух между обкладками конденсатора приводит к изменению емкости на 0,7 пФ. Таким образом, чтобы определять загрязнение фреона воздухом с точностью лучше чем 1%, необходимо регистрировать изменение емкости с ошибкой $< 7 \cdot 10^{-3}$ пФ. В данном устройстве реализована точность измерения последней величины $2 \cdot 10^{-3}$ пФ.

2. ИЗМЕРИТЕЛЬ РАЗНОСТИ ЕМКостей

Измеритель разности емкостей /рис.2/ построен по мостовой схеме. Биполярные сигналы генератора импульсов (M_1) подаются на емкостный мост $C_1 + C_4$, где C_3, C_4 - измерительные конденсаторы,

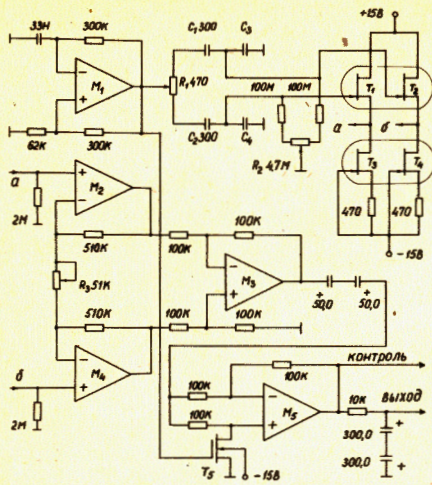


Рис. 2. Принципиальная схема измерителя разности емкостей. $M_1 \div M_5$ - 140УД8; $T_1 \div T_4$ - КПС104, T_5 - КП305А.

описанные в предыдущем разделе. Для уменьшения влияния емкости соединительных кабелей на точность измерения конденсаторы C_1, C_2 и буферные истоковые повторители $T_1 \div T_4$ размещены на плате, непосредственно соединенной с конденсаторами C_3, C_4 /разъем 7 на рис. 1/. Разностный сигнал усиливается дифференциальным усилителем ДУ ($M_2 \div M_4$) и подается на вход синхронного

детектора M_5, T_5 . После детектирования на выходе блока появляется постоянное напряжение, пропорциональное разности емкостей конденсаторов C_3 и C_4 .

Для обеспечения необходимой идентичности характеристик каналов истоковые повторители собраны на двух транзисторных сборках КПС104.

Дифференциальный усилитель^{4/} состоит из трех операционных усилителей $M_2 \div M_4$. Входной каскад ДУ / M_2, M_4 / является повторителем для синфазного сигнала и усилителем для разностного сигнала. Подавление синфазной составляющей осуществляется во втором каскаде / M_3 /. Достоинством такого ДУ является высокое входное сопротивление как для дифференциального, так и для синфазного сигналов, возможность регулировки коэффициента усиления, а также меньшее влияние нестабильности резисторов во внешних цепях ДУ на коэффициент ослабления синфазного сигнала.

Для уменьшения влияния нестабильности частоты импульсов генератора M_1 на точность измерений используется синхронное детектирование сигналов с выхода ДУ. В зависимости от состояния транзистора T_5 коэффициент усиления M_5 равен ± 1 .

Резисторы R_1, R_2 служат для балансировки моста, резистор R_3 - для регулировки коэффициента усиления ДУ. Для балансировки ДУ используются входы "Баланс" операционных усилителей $M_2 - M_4$. Частота импульсов генератора M_1 200 Гц, чувствительность прибора 1,2 В/пФ при $K = 200$. Емкости C_1, C_2 /КМ46-П33/ - 300 пФ.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Выполнены измерения зависимости показаний УКПП от концентрации фреона и фреон-воздушной смеси, а также определено влияние изменения давления и температуры окружающей среды на показания прибора.

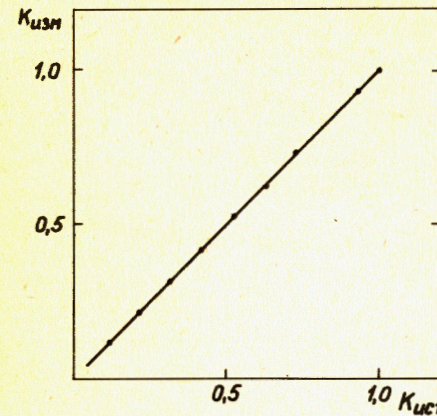


Рис. 3. Зависимость измеренной концентрации $k_{изм}$ фреона-12 и смеси фреон-воздух от истинной $k_{ист}$.

При измерении зависимости от концентрации один из отсеков с конденсаторами заполнялся фреоном, а другой - поочередно фреоном, воздухом и затем смесью фреон-воздух с известным процентным составом. Отсеки заполнялись до атмосферного давления. Для каждого из наполнений про-

изводился отсчет показаний U_ϕ, U_B и U_C соответственно. Концентрация фреона k в смеси вычислялась по формуле $k = 1 - (U_C - U_\phi) / (U_B - U_\phi)$.

На рис. 3 показана зависимость измеренной концентрации фреона от истинной концентрации в приготовленной смеси. Концентрация фреона в приготовленной смеси определялась по вакуумметру при заполнении отсека.

Точность измерения концентрации при постоянном давлении и температуре окружающей среды составляет 0,3%; на рис. 3 ошибки измерений не превышают размера экспериментальных точек. Существенный вклад в ошибки измерений, по-видимому, вносит неопределенность концентрации при приготовлении смеси, поскольку показание разности емкостей конденсаторов, заполненных чистым фреоном и воздухом, при постоянных внешних условиях воспроизводятся с точностью 0,1%.

Температурный коэффициент изменения измеряемой разности емкостей составляет $-0,27\%/1^\circ C$, коэффициент зависимости той же величины от атмосферного давления $0,04 \div 0,05 \%/мм \text{ рт. ст.}$

При измерении концентрации фреона в счетчике объем последнего подключается к газовой магистрали УКПП, и после измерений с наполнением фреон-фреон и фреон-воздух в газовый отсек коробки отбирается для измерений проба газа из счетчика. Объем отсека много меньше объема счетчика, поэтому давление газа в радиаторе практически не изменяется.

После смены газа в измерительном отсеке процесс установления показаний занимает несколько минут, что связано, по-видимому, с установлением теплового равновесия. Наблюдается также длительный дрейф показаний порядка 0,05 мВ/мин при характерном значении $U_\phi = 400$ мВ. Для учета дрейфа при заметно разнесенных во времени измерениях концентрации необходимо повторять измерения с наполнением отсека чистым фреоном и воздухом.

Таким образом, данное устройство позволяет определять состав смеси фреон-воздух и тем самым контролировать возможное изме-

нение показателя преломления газа в радиаторе счетчика, Точность измерения концентрации фреона, равная 0,3% при нормальных условиях, соответствует точности определения относительного изменения показателя преломления $7 \cdot 10^{-6}$. Данное устройство может использоваться для определения процентного состава других двухкомпонентных газовых смесей с разными показателями преломления компонент смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков О.Е. и др. ПТЭ, 1984, №1, с. 77.
2. Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Атомиздат, М., 1968, т. 2, с.152.
3. Таблицы физических величин. Справочник /под ред. И.К.Кикоина/. Атомиздат, М., 1976.
4. Силаев Е.А. ОИЯИ, P13-10095, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 ноября 1984 года.

Карпухин В.В., Куликов А.В., Трусов С.В. 13-84-769
Устройство для контроля показателя преломления газа

Описано устройство для контроля за показателем преломления двухкомпонентной смеси газов с различными значениями показателя преломления /и следовательно, диэлектрической постоянной/. Контроль осуществляется путем измерения разности емкостей конденсаторов, в зазоре одного из которых находится анализируемая смесь, а другого - один из входящих в ее состав газов. Для случая смеси воздух-фреон-12 относительная концентрация определяется с точностью 0,3%, что соответствует точности относительного определения показателя преломления $7 \cdot 10^{-6}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Karpukhin V.V., Kulikov A.V., Trusov S.V. 13-84-769
Device for Testing the Gas Refraction Index

The device for refraction index testing of two-component gas mixture of different refraction index (and hence dielectric constant) constituents is described. The testing is achieved by measuring the capacitance difference of two capacitors, a gap of one of these being filled with the analyzed mixture, of the other - with one of the constituents of the latter. For air-freon-12 mixture the error of relative concentration is 0.3% corresponding to $7 \cdot 10^{-6}$ error of relative refraction index measuring.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984