

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

УДК 539.1.074.23

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Газовая система. Производство смеси для продувки камер sTGC

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

Студент

_____ П. Е. Тетерин

_____ А. Н. Морозихин

Москва 2020

Содержание

Введение	2
Цель и предпосылки к работе	2
1 Описание детектора	4
1.1 Принцип работы пропорционального счетчика	4
1.2 Камера sTGC	5
1.3 Газовая смесь	6
2 Обзор решений	8
2.1 ПИЯФ	8
2.2 McGill University	10
2.3 CERN	11
2.4 Выводы к обзору	12
3 Задача Weizmann Institute of Science	13
3.1 Постановка задачи	13
3.2 Предлагаемое решение	15
Заключение	17

Введение

Газовые детекторы широко используются в физике высоких энергий. Они используются почти в каждой современной установке. Основные задачи этих детекторов - это измерение координат в рамках трековых систем.

Детектор sTGC (small Thin Gap Chambers) представляет собой новый тип тонкоззорных мюонных камер, обладающий существенно лучшим координатным разрешением, при этом сохраняющим основные технические и механические параметры пришедшие с TGC. Данный тип камер планируется применять в проекте Нового Мюонного Кольца (NSW) для модернизации экспериментальной установки ATLAS в ЦЕРН. Для работы пропорционального счетчика, такого как sTGC, необходима газовая смесь определенного состава, получение которой является нетривиальной инженерной задачей.

Цель и предпосылки к работе

Цель работы - создание газовой системы отвечающей требованиям безопасности и учитывающей опыт предшествующих разработок подобных узлов. Второстепенной целью работы было создание подробного обзора существующих систем, для упрощения процесса разработки новых узлов под схожие задачи. В ходе работы были проанализированы системы используемые в ПИЯФ, Университете МакГилл, Институте имени Вайцмана для тестирования камер sTGC, отмечены удачные и интересные решения. Также к рассмотрению представлена система используемая в CERN для оснащения установки ATLAS необходимой, для работы детекторов, газовой смесью.

В институте имени Вайцмана (Израиль) проводится тестирование камер sTGC, которые планируется применить в проекте Нового Мюонно-

го Кольца (NSW) для модернизации экспериментальной установки ATLAS в ЦЕРН. Газовая система используемая для продувки пропорциональных счетчиков устарела, что является предпосылками к работе - ее необходимо модернизировать. Для этого нужно спроектировать новую, более совершенную систему. Также в ходе работы был изучен принцип работы пропорциональных камер на примере sTGC.

1 Описание детектора

1.1 Принцип работы пропорционального счетчика

Газонаполненные детекторы (счетчики) благодаря хорошей чувствительности к излучениям разных видов, относительной простоте и дешевизне являются широко распространенными приборами регистрации излучений. Такой детектор представляет собой наполненную газом оболочку, в объем которой введены два или три электрода. В газонаполненных детекторах для регистрации частиц используется ионизация газа. Под действием приложенного напряжения образовавшиеся в результате электроны (ионы) собираются на электродах. Один из основных типов газовых детекторов - пропорциональные счетчики.

Пропорциональные счетчики отличаются своим режимом работы. Если электроны вызванные первичной ионизацией налетающей частицы могут набрать достаточное количество энергии в электрическом поле за малый промежуток времени, то они смогут самостоятельно вызвать ионизацию, в результате чего число носителей заряда в камере возрастет. Новые электроны возникшие в результате этой ионизации, в свою очередь, также набирают достаточное количество энергии для ионизации ударом. Таким образом к аноду движется нарастающая лавина электронов. Это «самоусиление» электронного тока может достигать 10^3 - 10^4 . Такой режим работы отвечает пропорциональной камере. В названии отражено то, что в этом приборе амплитуда импульса тока остаётся пропорциональной энергии, затраченной заряженной частицей на первичную ионизацию среды детектора. Схема пропорциональной камеры изображена ниже ??.

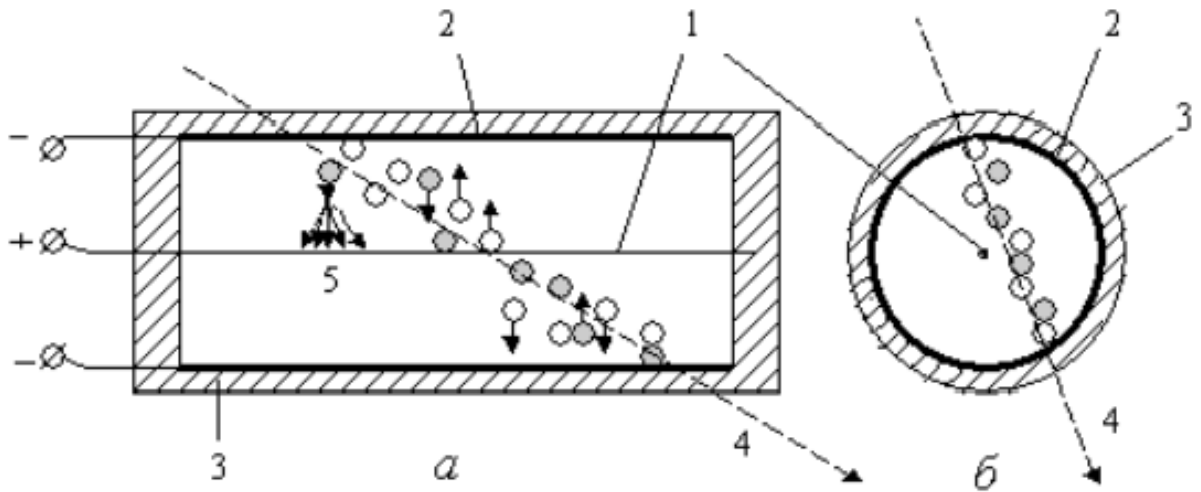


Рисунок 1 — Схема пропорционального счётчика (а) — в продольном и (б) — поперечном разрезах : 1 — нить-анод, 2 — цилиндрический катод, 3 — изолятор, 4 — траектория заряженной частицы, 5 — электронная лавина. Электроны и ионы, созданные частицей в результате первичной ионизации атомов инертного газа, показаны соответственно темными и белыми кружочками

1.2 Камера STGC

Детектор sTGC (small Thin Gap Chambers) представляет собой новый тип тонкоззорных мюонных камер, обладающей существенно лучшим координатным разрешением, и при этом сохраняющим основные технические и механические параметры зарекомендовавшие себя в TGC.

Структура камеры sTGC показана на рисунках [2а](#), [2б](#).

Детектор состоит из сетки с $50\mu m$ позолоченной вольфрамом проволокой расположенной с шагом в $1.5mm$, между двумя катодными пластинами на расстоянии $1.4mm$. Катодные плоскости выполнены из графит-эпоксидной смеси с поверхностным сопротивлением $100k\Omega/\square$. Координата измеряется при помощи полосок шириной $3.2mm$, нанесенных по одному из катодов.

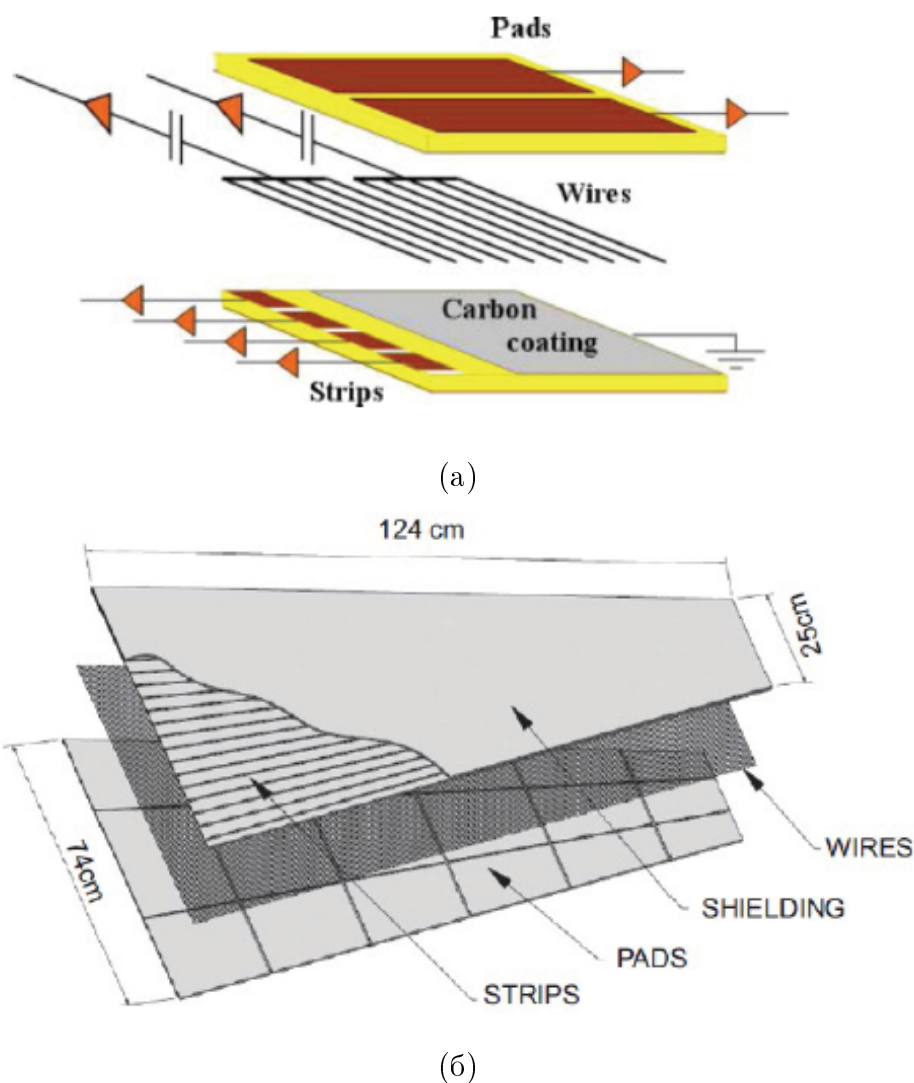


Рисунок 2 — Устройство камеры sTGC

1.3 Газовая смесь

Определяющим фактором работы газового детектора является газовая смесь. В случае sTGC камер, газовая смесь используемая для продувки детекторов - $N - pentane : CO_2(45\% : 55\%)$.

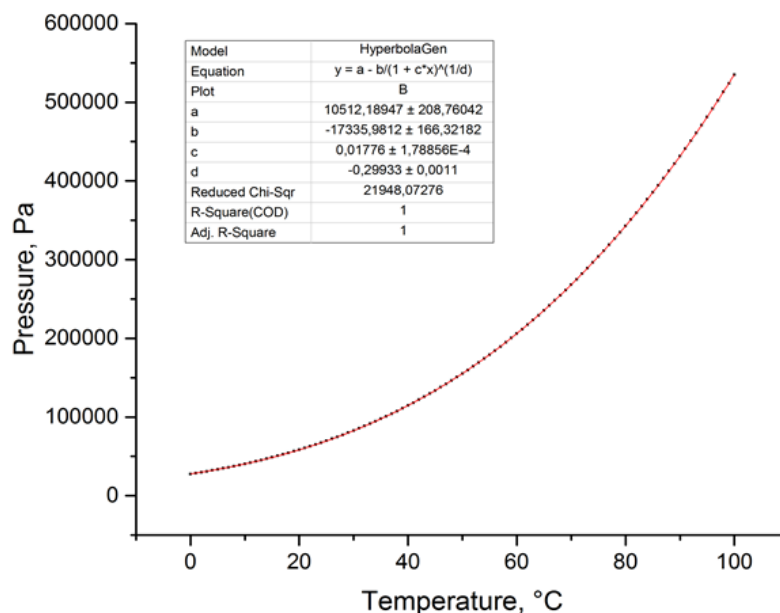
Рассматриваемая смесь отличается от привычной Ar -содержащей смеси используемой в большинстве газовых счетчиков наличием $N - pentane$ - ациклический углеводород. Этот газ огнеопасен, что говорит о наличие некоторых ограничений в работе с представленной компонентой. В газообразном виде тяжелее воздуха и тем более кислорода и имеет свойства скапливаться в нижних воздушных слоях. Не растворим в воде. Зависимость

давления насыщенных паров от температуры выражается функционально в формуле Ашфорта (1.1).

$$\lg P - 3158 = 7.6715 - 2.68 * \frac{A}{B} \quad (1.1)$$

$$A = \frac{1250}{\sqrt{T^2 + 108000} - 307.6} - 1 \quad B = \frac{1250}{\sqrt{T_0^2 + 108000} - 307.6} - 1 \quad (1.2)$$

Анализируя функцию зависимости температуры от давления насыщенных паров **3а** наблюдается экспоненциальная зависимость на интервале температур $0 - 37^{\circ}C$, выбор данного интервала обусловлен особенностью его правой границы, которая соответствует температуре кипения $N - pentane$ ($36.1^{\circ}C$). Одной из главных причин использования $N - pentane$ в смесях для газовых счетчиков является устойчивость газа к ультрафиолетовому излучению. Также $N - pentane$ предотвращает возможность стримеров и не смешивается с воздухом, тем самым вытесняя его из объема детектора.



(a)

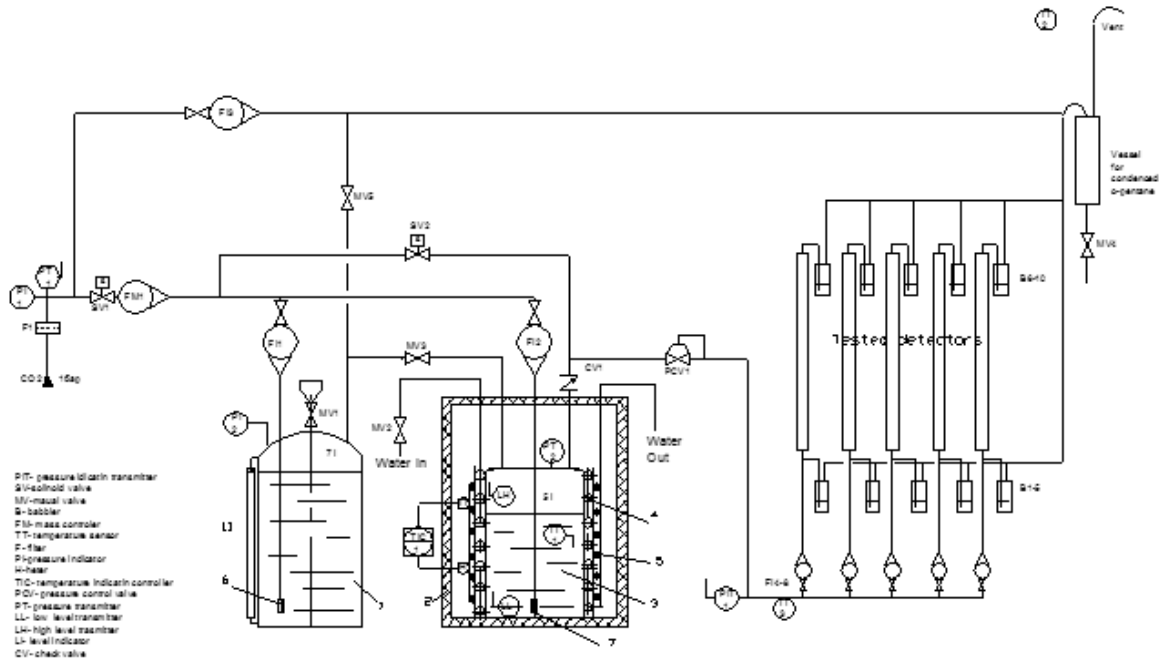
Рисунок 3 — График зависимости температуры от давления насыщенных паров

2 Обзор решений

Все представленные к обзору газовые системы, производящие смесь $N - pentane : CO_2(45\% : 55\%)$, используются для продувки камер sTGC в процессе их тестирования, с целью применить эти пропорциональные камеры в проекте Нового Мюонного Кольца (NSW) для модернизации экспериментальной установки ATLAS в ЦЕРН. За исключением системы используемой в ЦЕРН, представленный узел используется для оснащения необходимой смесью всех газовых детекторов установки ATLAS. Эта система рассчитана на большие потоки и представлена к обзору из-за интереса к принципиальной схеме установки и устройства узла рекуперации.

2.1 ПИЯФ

Существует два основных способа получения требуемой для детектора смеси с определенными отношениями массовых долей: контроль температур смешиваемых компонент смеси, контроль смешиваемых объемов компонент смеси. Представленный к обзору узел, используемый в ПИЯФ для тестирования камер sTGC, производит необходимую смесь с помощью первого метода - контроль температуры. Ниже представлена схема установки [4а](#).



(a)

Рисунок 4 — Схема газовой системы. (фильтр F1, индикатор давления PI1, датчик давления PT1, электромагнитный клапан SV1, регулятор массового потока FM1, регулятор-индикатор потока FI1, индицирующий датчик давления PIT1, регулятор-индикатор потока FI2, контроллер температуры TIC1, датчик давления PT2, датчик температуры TT2, запорный клапан MV3, регулятор-индикатор FI3, регулятор-индикатор потока FI4, масляные ограничители давления B1, масляные индикаторы потоков B6, клапан MV4)

Газовая система рассчитана на потоки в интервале $50 - 100 \text{ ml/min}$. Смесь - $N - pentane : CO_2(45\% : 55\%)$ - готовится путем пробурливания углекислого газа через жидкий $N - pentane$ при температуре $17^{\circ}C$, что обеспечивает, исходя из законов Ашворта (1.1) и Дальтона (2.1).

$$P = \sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (2.1)$$

Интересной особенностью является наличие двух баков для жидкого $N - pentane$. Использование двух бачков обусловлено получением $N - pentane$ более высокой степени чистоты за счет его конденсации в бачке (3) из потока, проходящего по трубопроводу с запорным клапаном.

Оба бачка имеют дискретные уровнемеры жидкости, контролируемые системой управления. Также стоит отметить, что на случай поломки куллера, используемого в установке для охлаждения смеси до нужной температуры в 17°C , в схеме предусмотрено охлаждение бачка (3) проточной водой. Для этого на бачке расположен змеевик и нагреватель, управляемый контроллером температуры. Также характерной деталью является способ выброса отработанной смеси. После детекторов смесь поступает в вентиляционный коллектор, где концентрация *n*-пентана снижается до безопасного уровня за счет добавления 2 через регулятор-индикатор F13. На выходе коллектора установлен емкость для конденсированного *N* – *pentane*, которая будет расположена вне помещения. При температуре окружающей среды ниже 20°C в сборочной емкости будет конденсироваться *N* – *pentane*.

2.2 MCGILL UNIVERSITY

Как уже говорилось существует два основных метода получения газовой смеси определенного состава с соблюдением требуемых пропорций: контроль смешиваемых объемов и контроль температуры. Из-за простоты в обслуживании для системы используемой в Университете МакГилл был выбран метод контроля температуры, что по своей концепции повторяет систему из ПИЯФ. Узел также используется для продувки камер sTGC в процессе их тестирования???. Получение смеси *N* – *pentane* : CO_2 (45% : 55%) происходит в два этапа. Сначала создается насыщенная смесь при 20°C , которая соответствует более высокой концентрации *N* – *pentane*. Затем полученная смесь охлаждается в кулере, который принципиально представляет собой элемент Пельтье, что является примечательным. Данный узел конденсации связан с баком для жидкого *N* – *pentane*, в который конденсированный *N* – *pentane* стекает под действием силы тяжести 6а.

Газовая система имеет 6 независимых друг от друга в отношении давления каналов. Таким образом, представленная газовая система рассчитана на максимальный поток в $525\text{ml}/\text{min}$, что соответствует $87\text{ml}/\text{min}$ – максимальный поток для каждого канала.

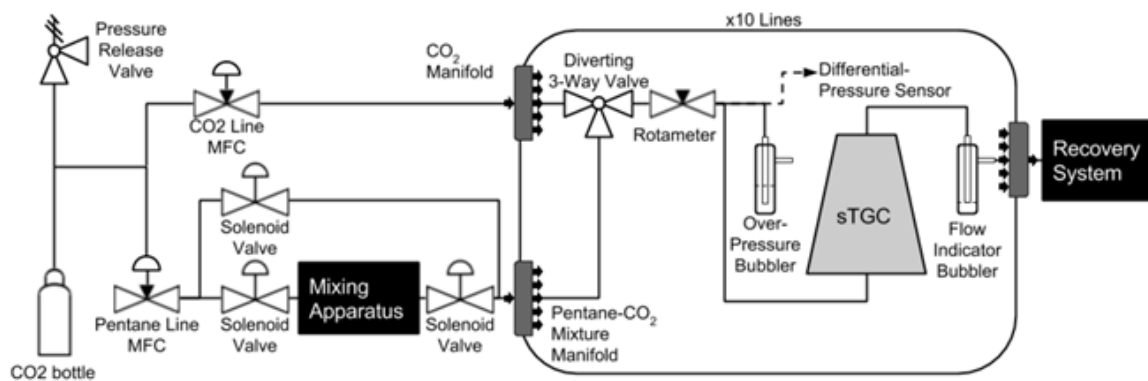


Рисунок 5 — Схема газовой системы McGill University

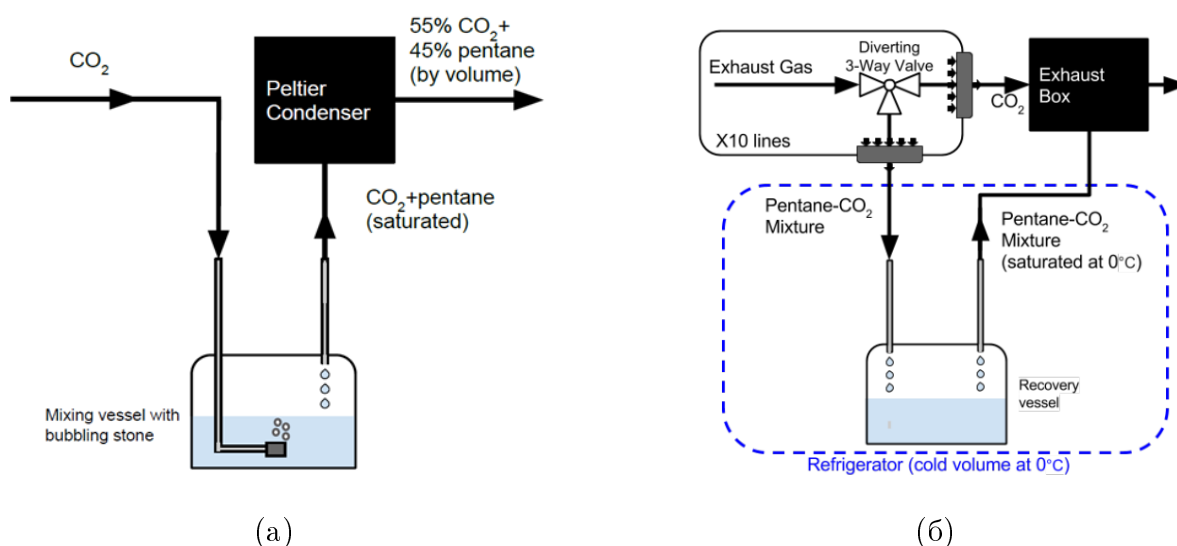


Рисунок 6 — Принципиальные схемы: узел получения смеси (а), рекуперационная система (б)

2.3 CERN

Газовая система, используемая в ЦЕРНе, рассчитана на газовые потоки больших объемов - $1.3\text{m}^3/\text{h}$. Смесь $N - pentane : CO_2$ (45% : 55%) получают путем комбинирования двух методов (регулирование смешиваемых объемов и регулирование температуры смеси). Потоки компонент газовой смеси и пара измеряются с помощью регуляторов массового расхода жидкости и газа, которые имеют абсолютную точность 1%. Жидкий $N - pentane$ протекает через испарительную колонну, через которую пропускается поток CO_2 .

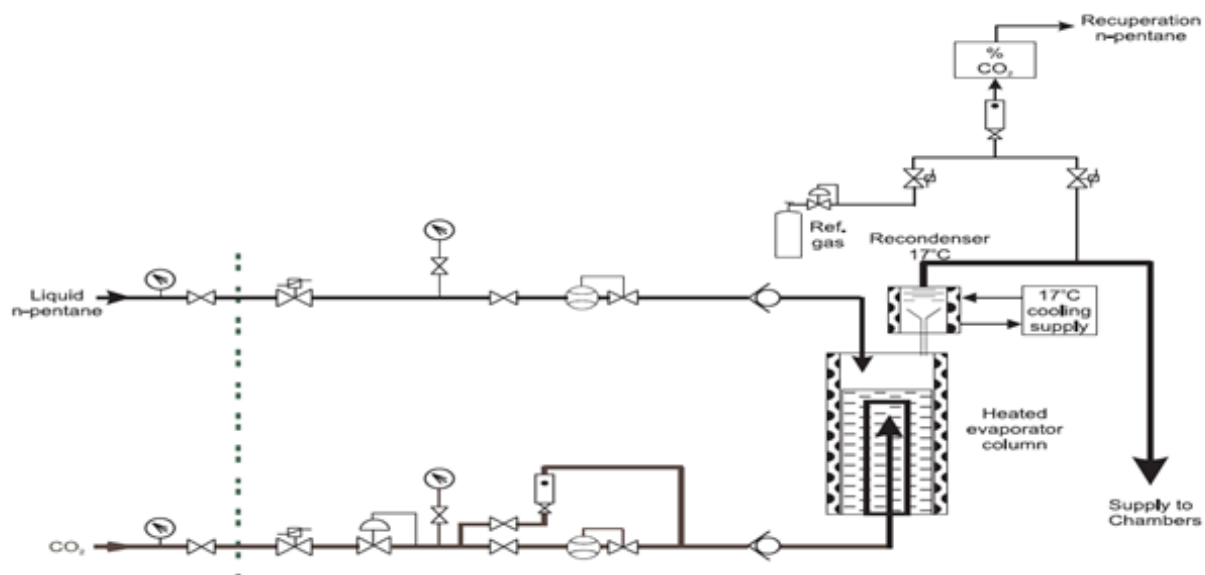


Рисунок 7 — Схема газовой системы CERN

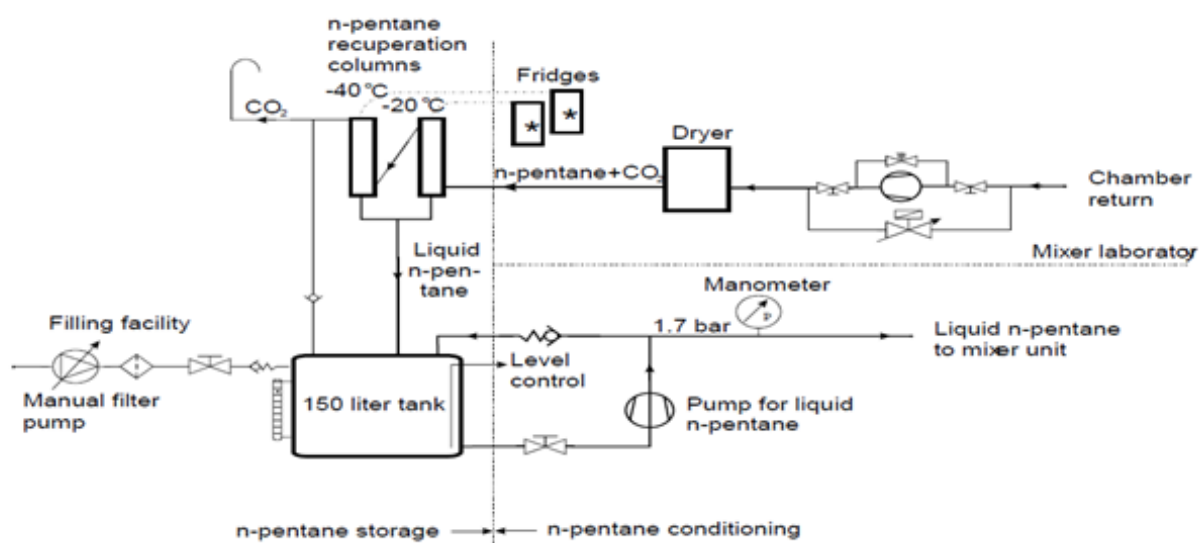


Рисунок 8 — Схема recuperационного узла

2.4 Выводы к обзору

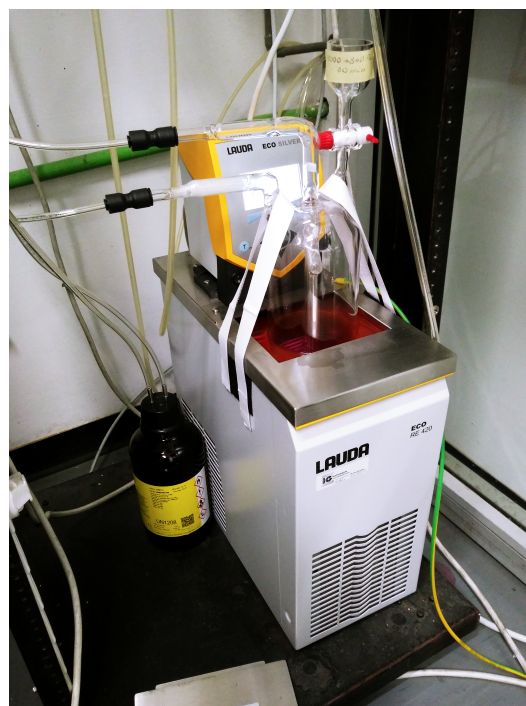
3 Задача WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

3.1 Постановка задачи

В институте имени Вайцмана (Израиль) проводится тестирование камер sTGC для применения в проекте Нового Мюонного Кольца (NSW) для модернизации экспериментальной установки ATLAS в ЦЕРН. Газовая система используемая для продувки пропорциональных счетчиков устарела, что является предпосылками к работе, ее необходимо модернизировать. Для этого нужно спроектировать новую, более совершенную систему. Состояние и оснащение системы на текущий момент можно наблюдать на фотографиях [9а](#), [9б](#), [10а](#), [10б](#).

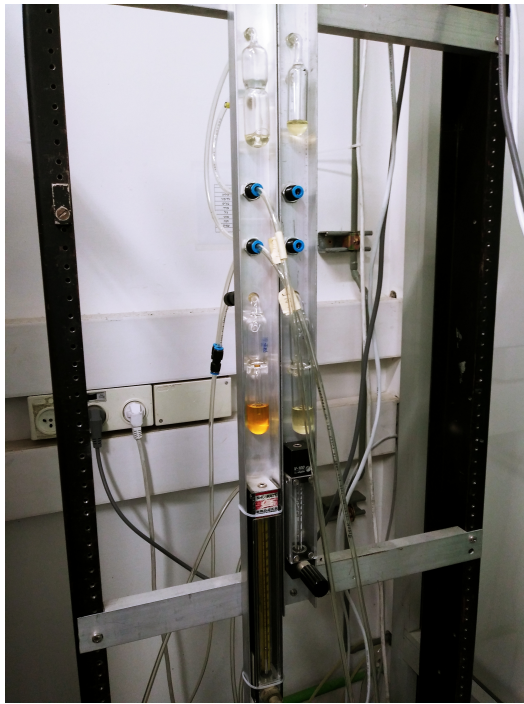


(a)



(б)

Рисунок 9 — Фотографии используемой системы ч.1



(a)



(б)

Рисунок 10 — Фотографии используемой системы ч.2

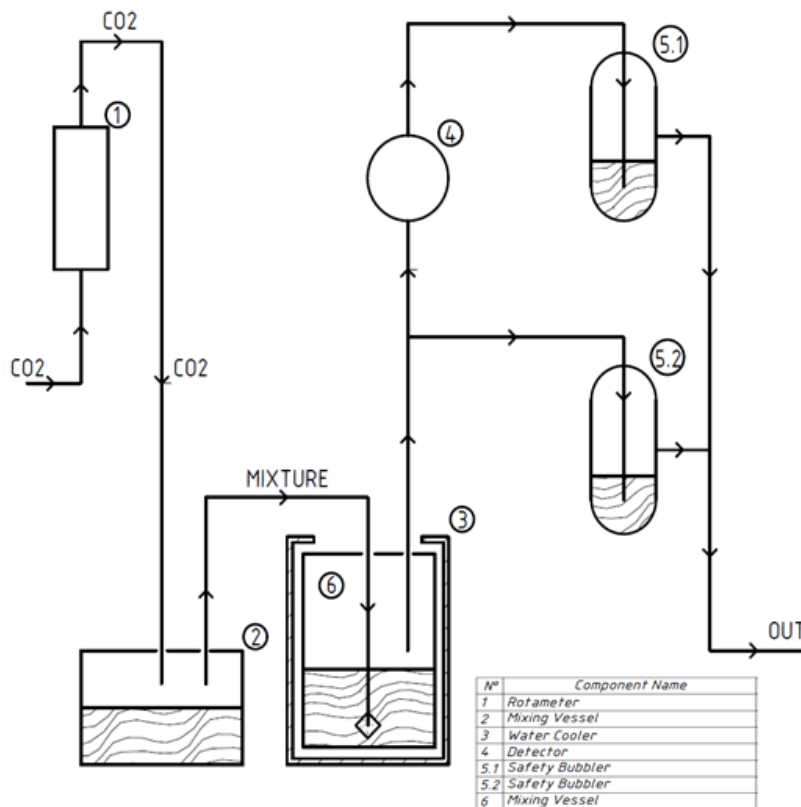


Рисунок 11 — Принципиальная схема газовой системы

3.2 Предлагаемое решение

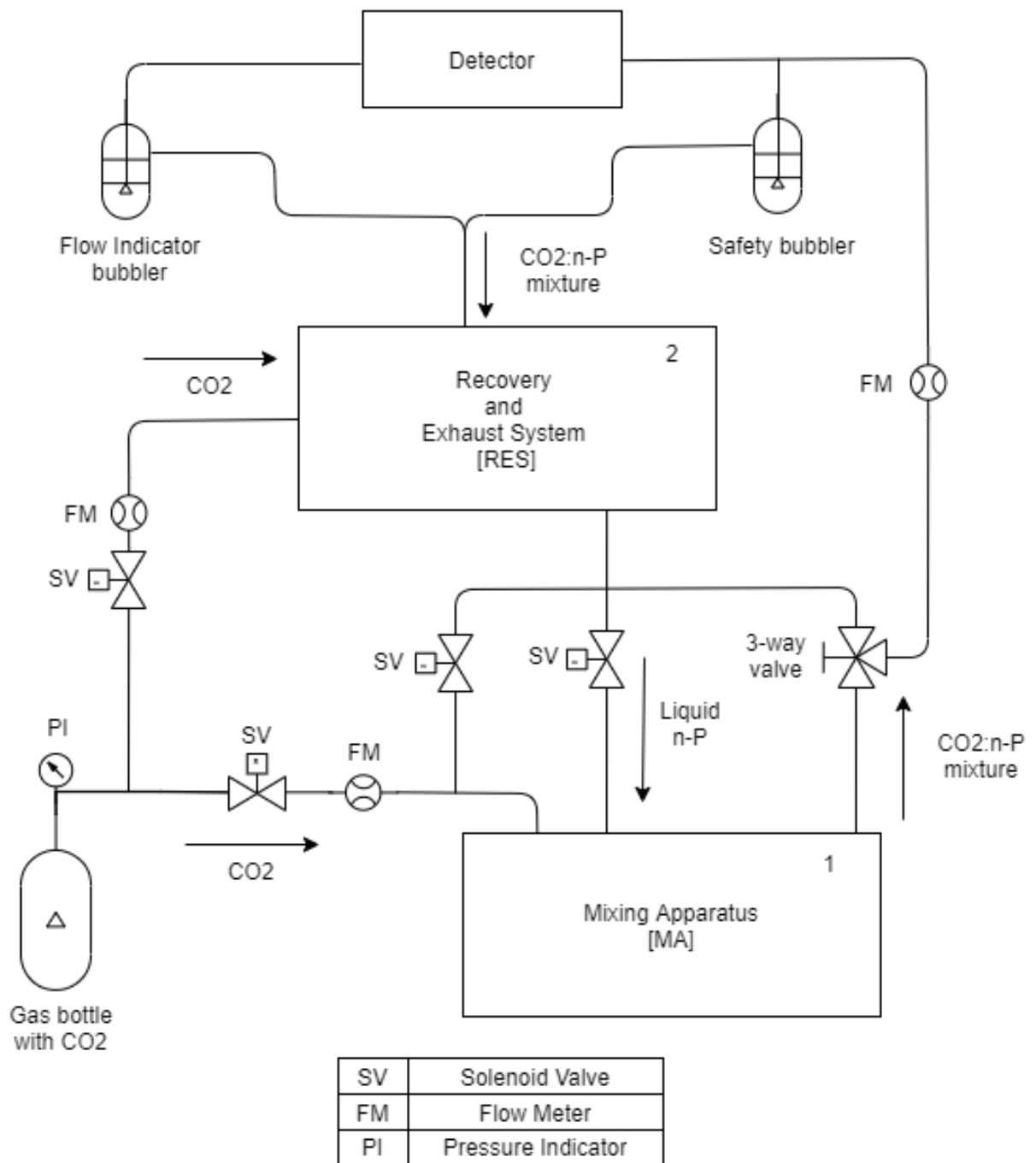
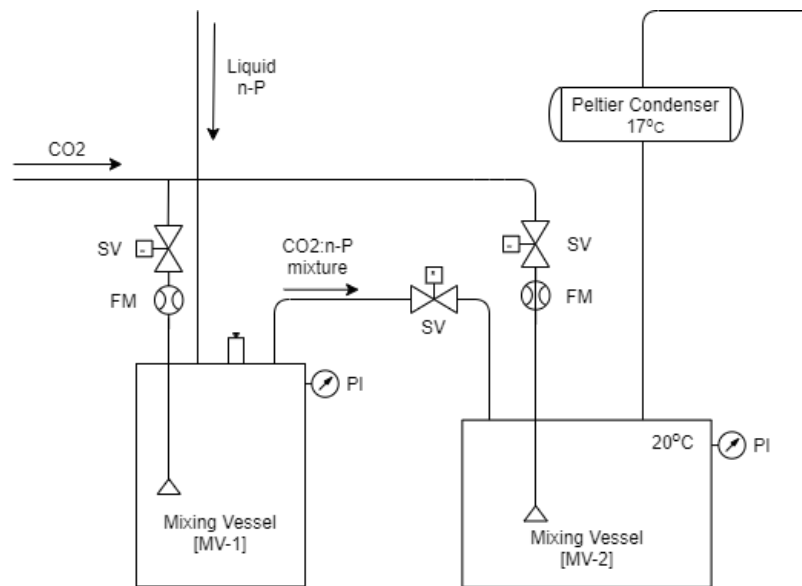
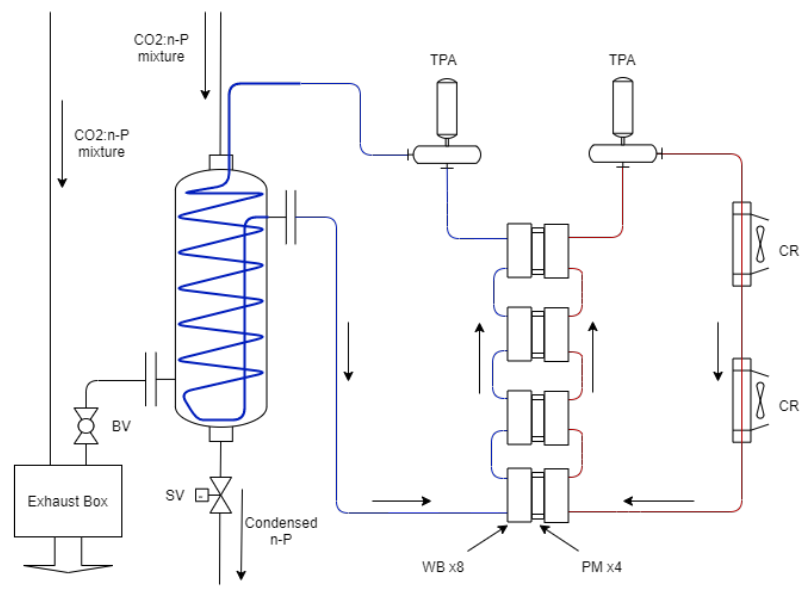


Рисунок 12 — Принципиальная схема предлагаемой газовой системы



MV-1	Mixing Vessel (room temperature)
MV-2	Mixing Vessel (fix temperature 20°C)
SV	Solenoid Valve
FM	Flow Meter
PI	Pressure Indicator

(a)



BV	Ball Valve
SV	Solenoid Valve
WB	Water Block
PM	Peltier Modul
CR	Cooling Radiator
TPA	Tank with Pump for Antifreeze
—	Heat removal circuit
—	Cooling circuit

(б)

Рисунок 13 — Схемы предлагаемой системы: (а) - смеситель, (б) - реку-
пиратор

Текущая ситуация. Заключение

На данном этапе проект по созданию новой газовой системы для института имени Вайцмана остановлен. Процесс тестирования камер sTGC для института завершен раньше предполагаемого срока в связи со сложной эпидемиологической ситуацией в мире. По итогам работы был получен опыт разработки подобных узлов, получены знания по устройству детектора sTGC. В дальнейшем по этому проекту ничего не планируется.