

Разделение тройной (H_2 , D_2 , HD)
смеси изотопов водорода в
рамках эксперимента по D_3Ne
мезокаталитическому синтезу.

Эксперимент MUSUN

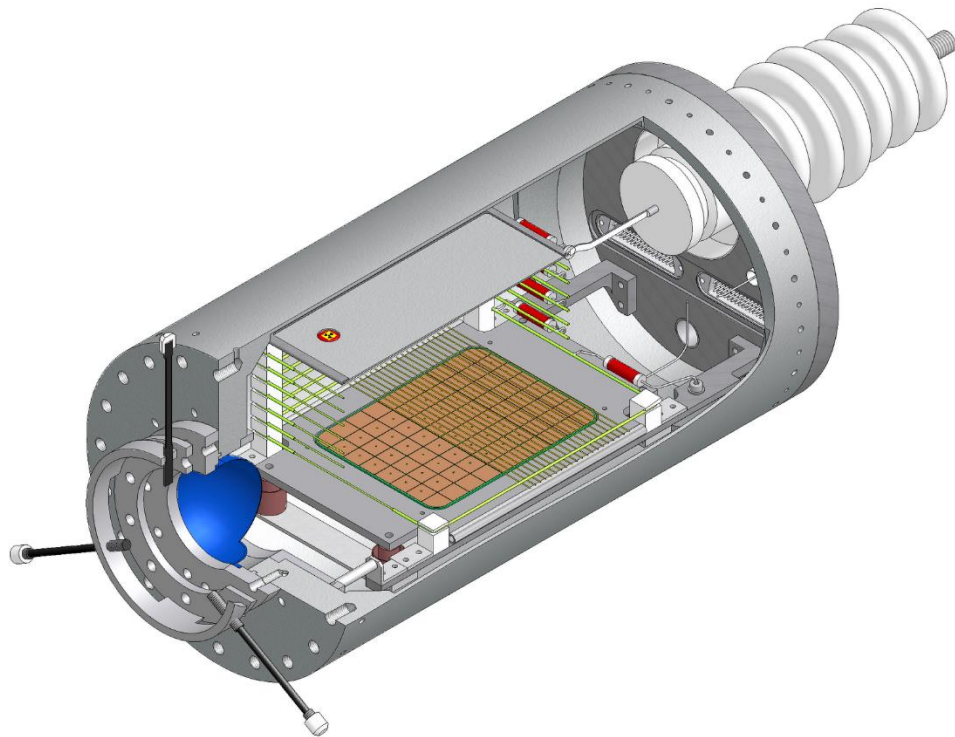
Исследование процесса захвата отрицательного мюона ядром дейтерия (дейтроном)

2007 – начало работ над установкой

2009 – первые испытания центрального
детектора

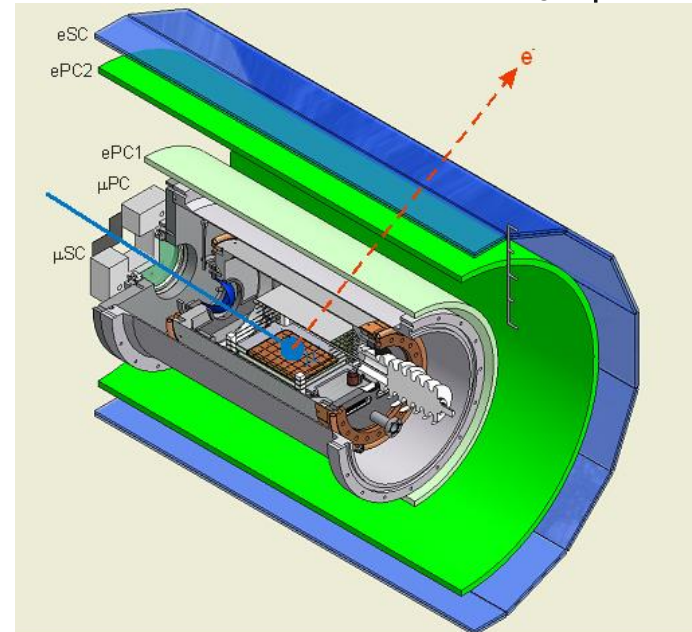
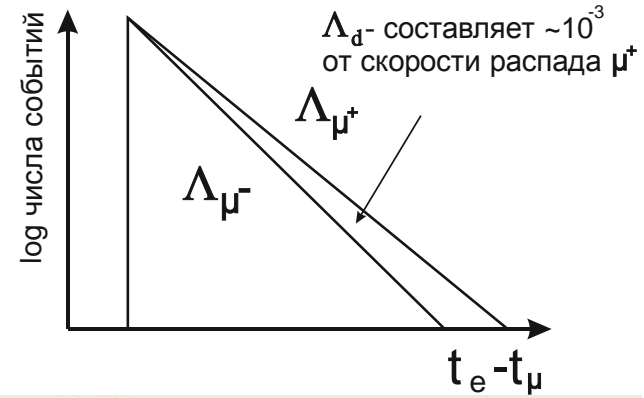
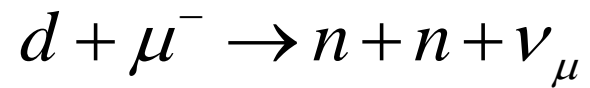
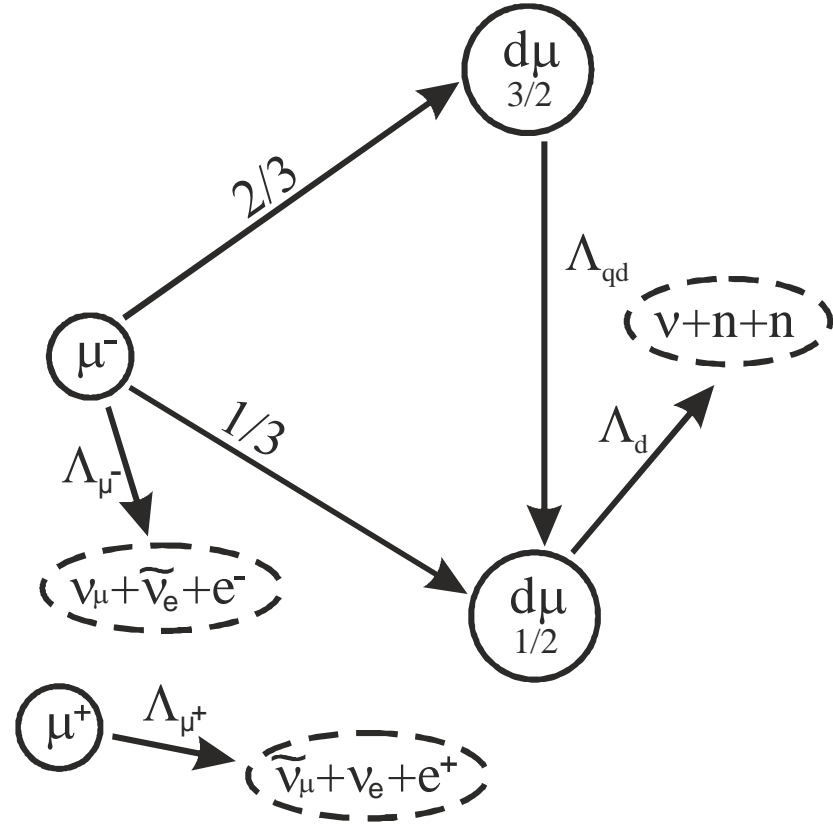
2018 – Завершение основного этапа
экспериментальной программы

2019 – Продолжение эксперимента

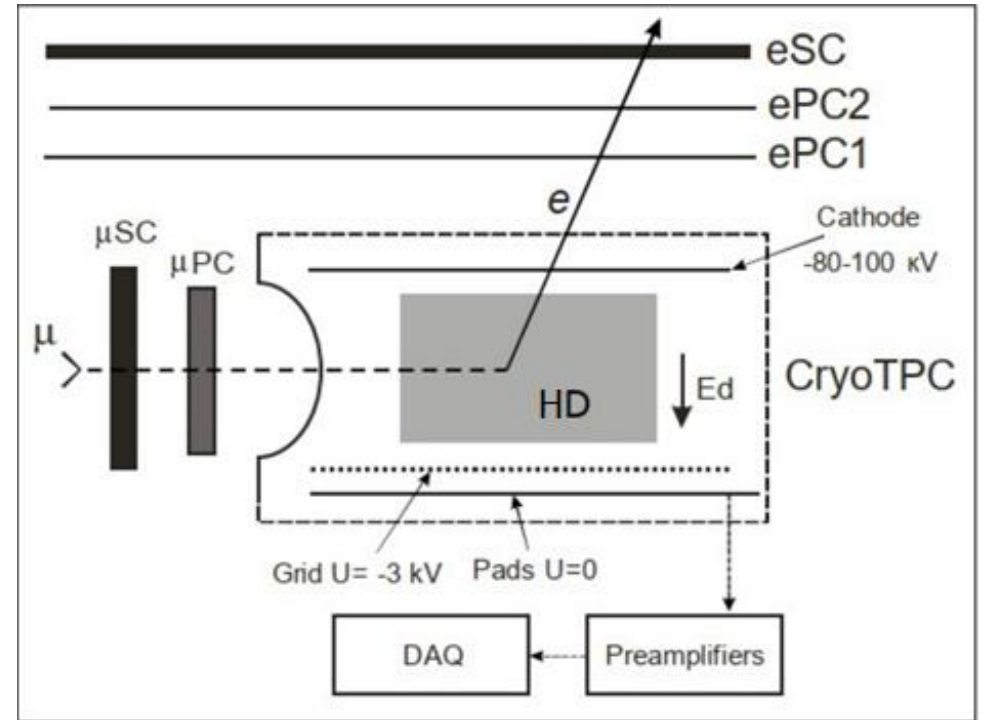
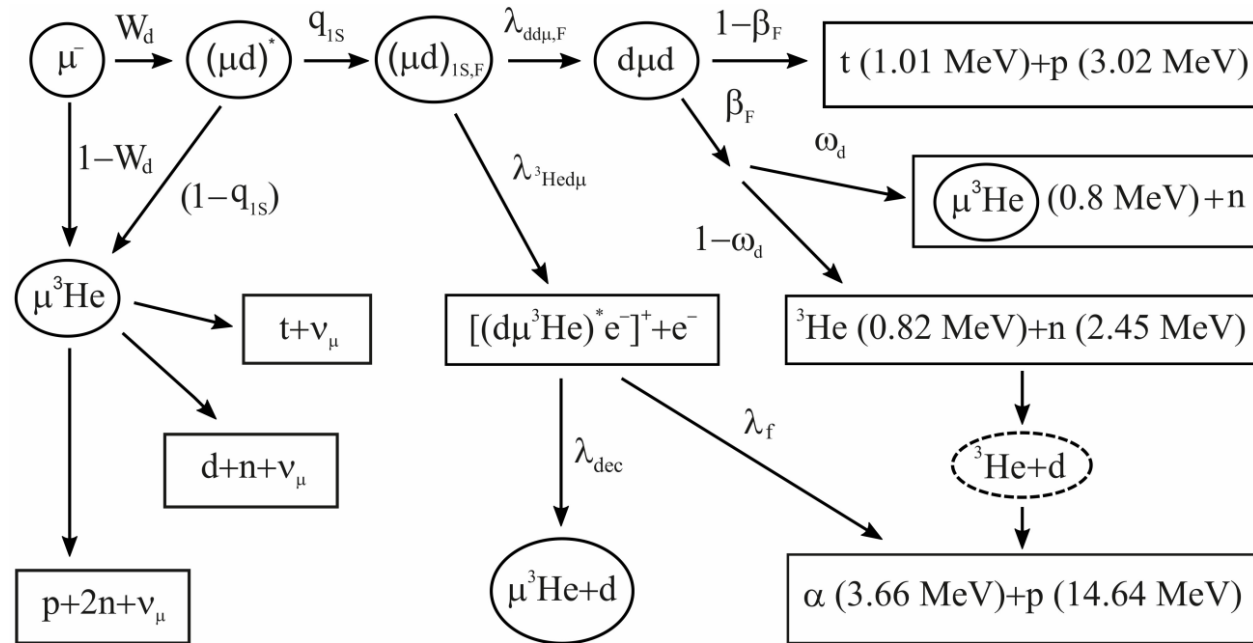


Эксперимент MuSun

Исследование процесса захвата отрицательного мюона ядром дейтерия (дейтроном)



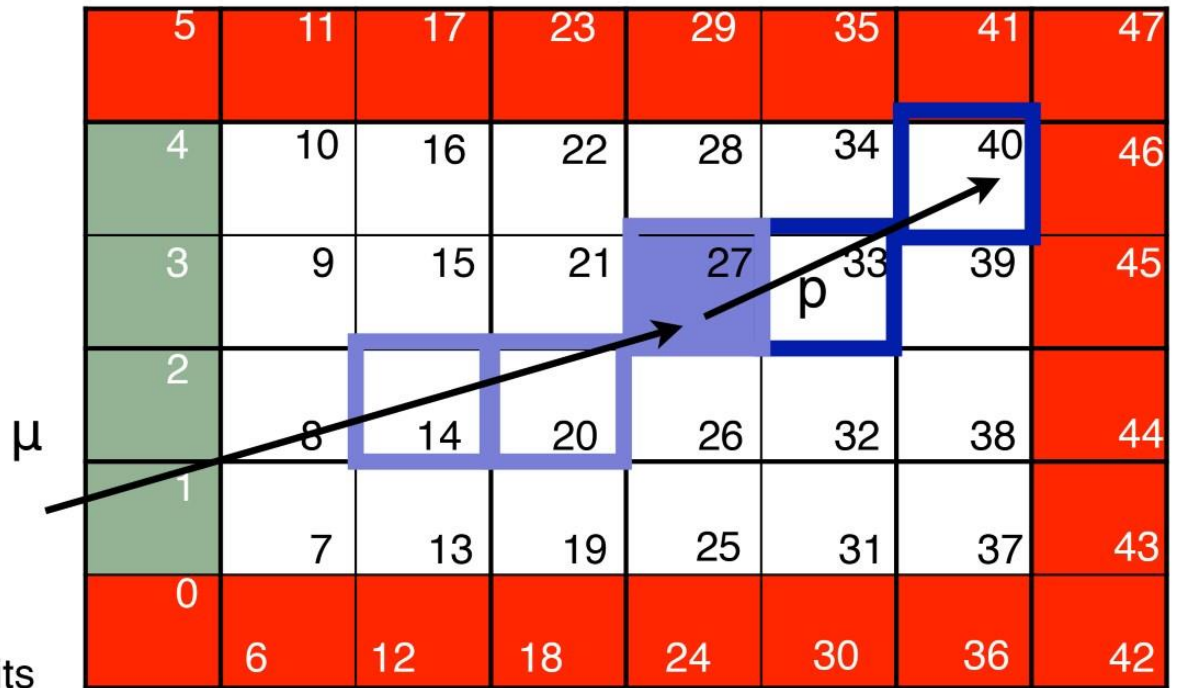
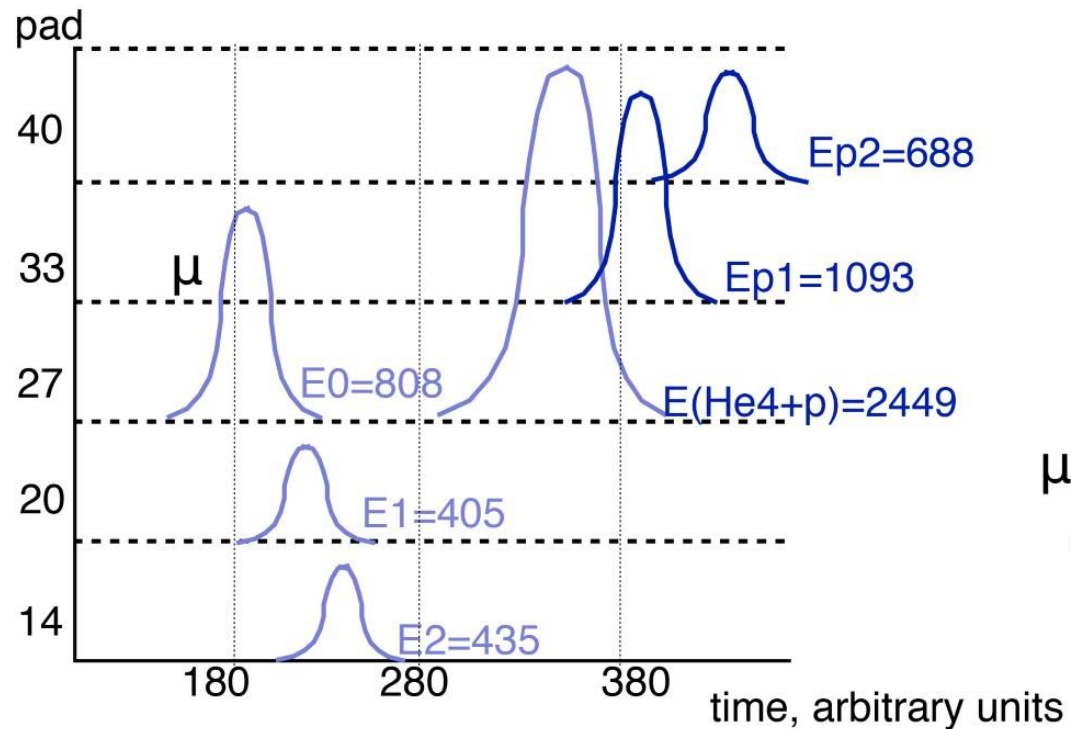
Исследование μ -катализа $d^3\text{He}$ - ядерного синтеза



${}^3\text{He}(0.82\text{MeV}) + d \rightarrow 4\text{He}(1.8 - 6.6 \text{ MeV}) + p(17.4 - 12.6 \text{ MeV})$ - $d^3\text{He}\mu$ «на лету»

${}^3\text{He} + d \rightarrow 4\text{He}(3.66 \text{ MeV}) + p(14.64 \text{ MeV})$ - исследуемая реакция $d^3\text{He}\mu$ - синтеза

Отбор событий $d^3\text{He}\mu$ -синтеза



Постановка задачи

- Ранее уже было проведено два эксперимента по измерению сечения реакции $d^3\text{He}\mu$:

Группой из ПИЯФ 1996 год: $\Lambda_f < 6 \times 10^4 \text{ c}^{-1}$

Search for muon catalyzed of d^3 – fusion / E.Maev, D. Balin, T.Case et al. // Hyperfine interactions. 1999. Vol. 101/102. P. 1 – 11.

Группой из ОИЯИ 1997 год: $\Lambda_f < 4.5 \times 10^5 \text{ c}^{-1}$

Study of the nuclear fusion in a muonic $d \mu ^3\text{He}$ complex / V. Bystricky, M. Filipovicz, V. Gerasimov et al. // The European Physics Journal D. 2006. Vol. 38, no. 3. P. 455 – 470.

- Как видно из результатов разница составляет порядок, что сделало необходимым повторное проведение эксперимента
- К возможным причинам такого разночтения можно отнести влияние фоновых процессов связанных с $dd\mu$ – синтезом с образованием $^3\text{He}(0.82\text{MeV})$ с последующей реакцией $d^3\text{He}\mu$ - синтеза «на лету»

Эксперимент ПИЯФ 1996 года

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ИМ. Б.П.КОНСТАНТИНОВА

ПИЯФ-2000
2395

2395

Г. Н. Шапкин, В. А. Ганжа, М. А. Сорока,
Е. М. Маев, Г. Г. Семенчук

Получение чистого дейтероводорода (HD) для исследования мюонного катализа dd-синтеза

SS-52-2000

ГАТЧИНА

Основные параметры

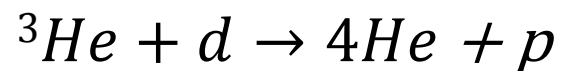
эксперимента:

T камеры = 55 K

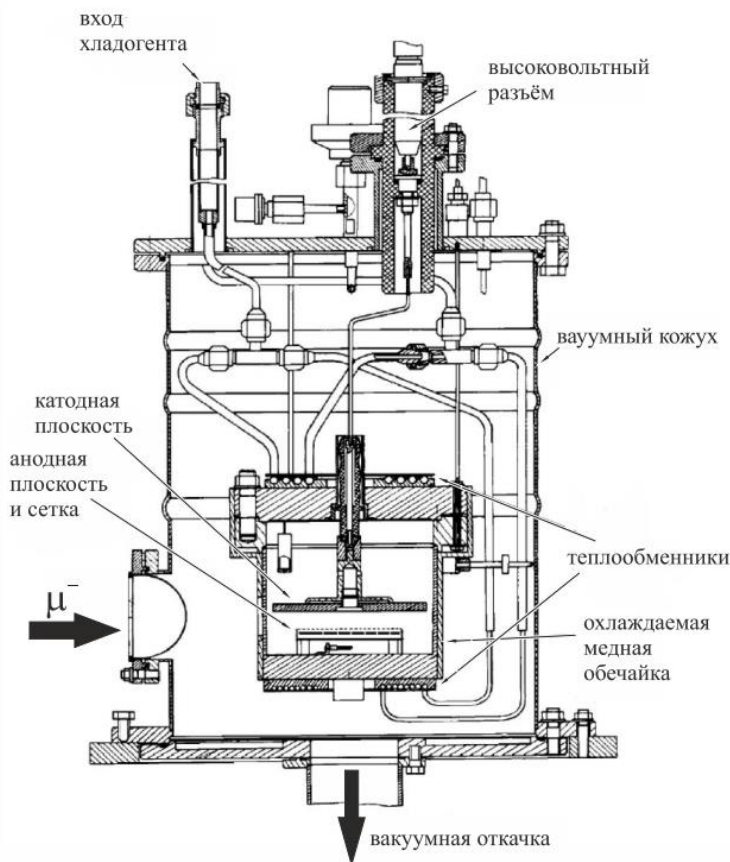
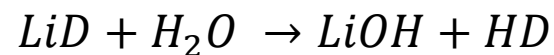
P Камеры = 180 бар

Изотопная чистота HD 98%

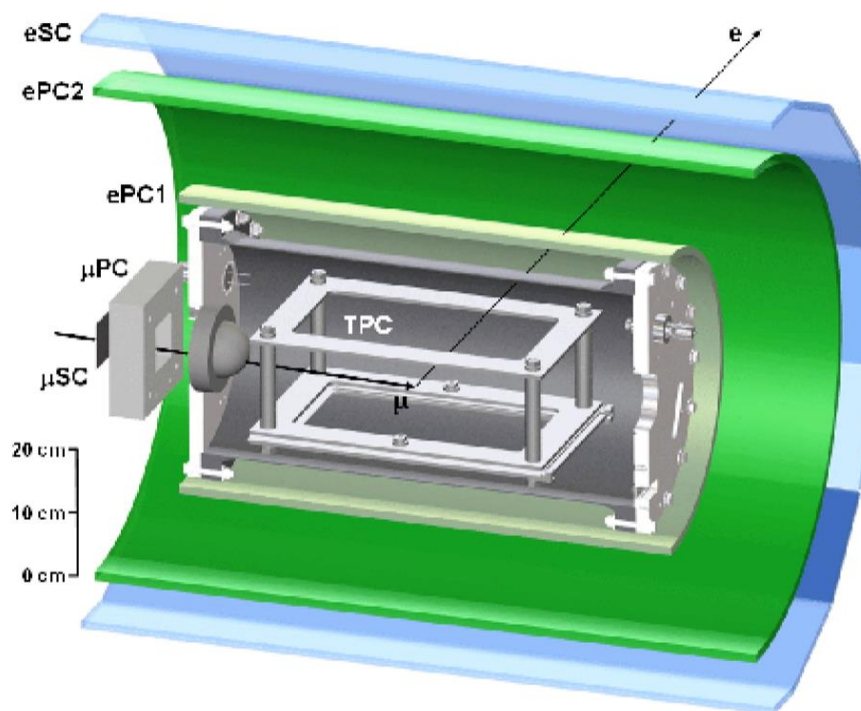
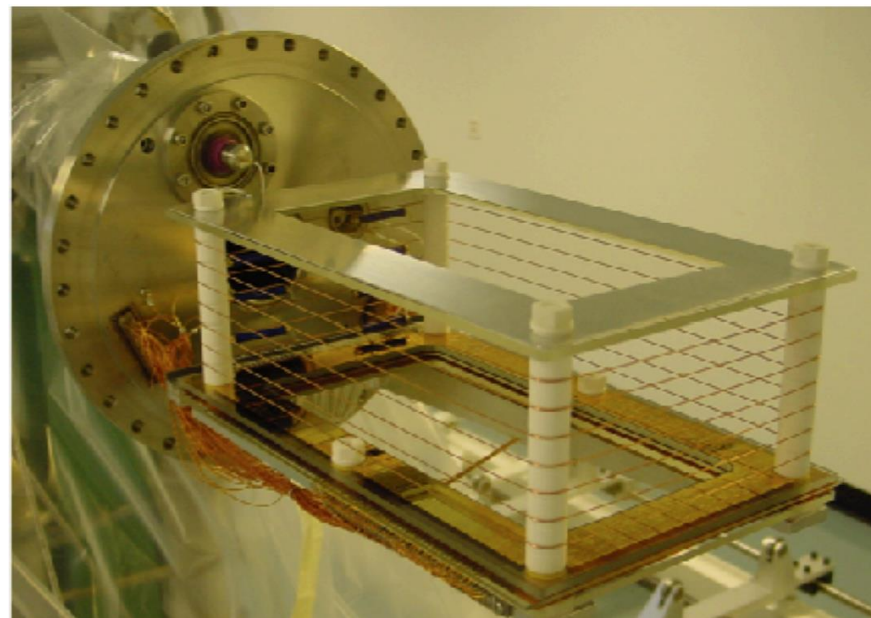
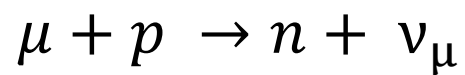
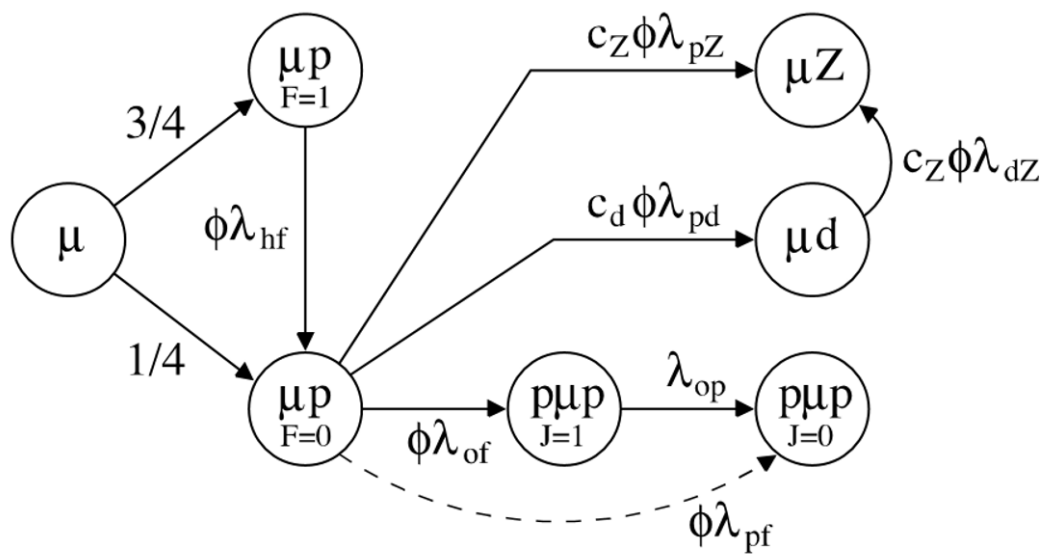
Исследуемая реакция:



Метод получения HD:



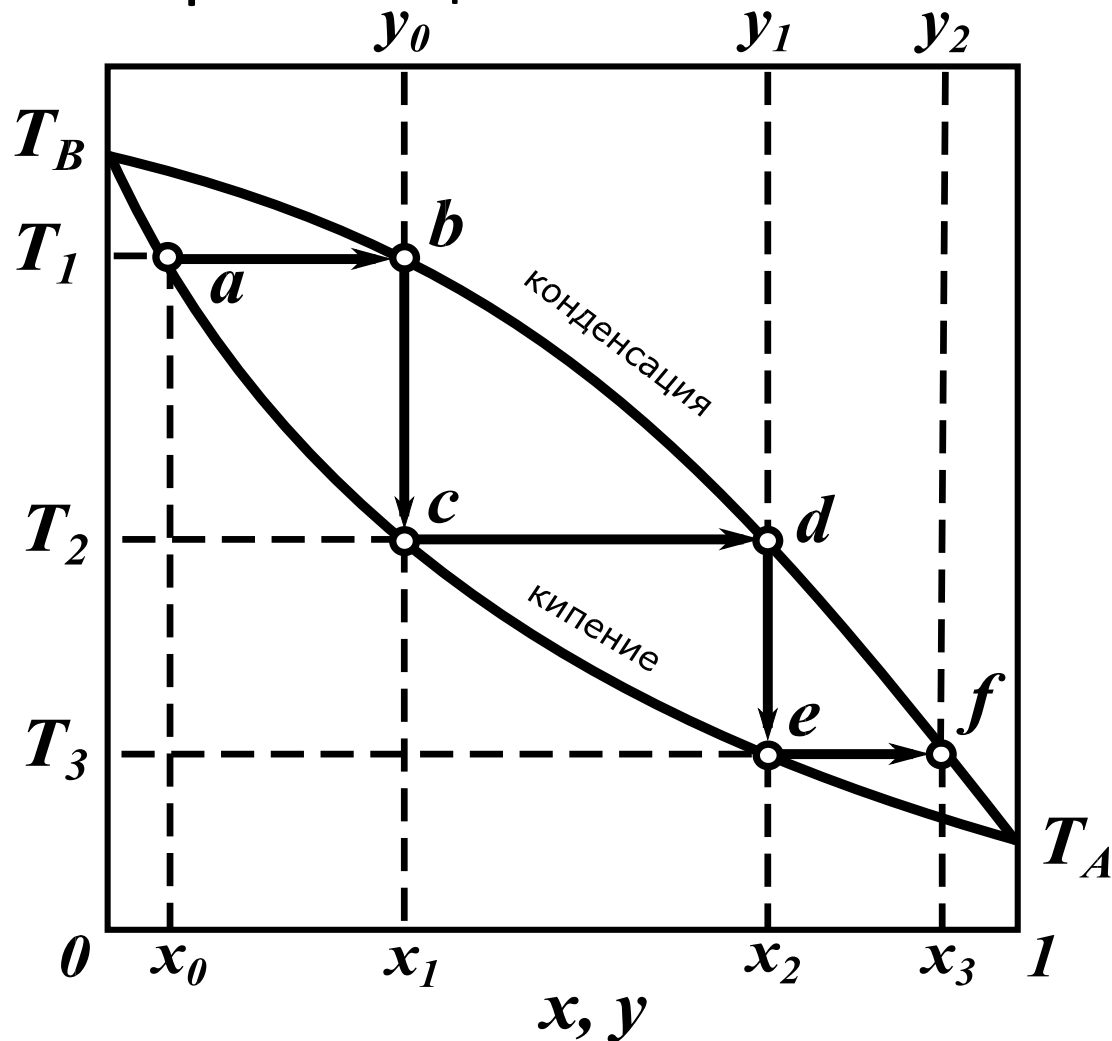
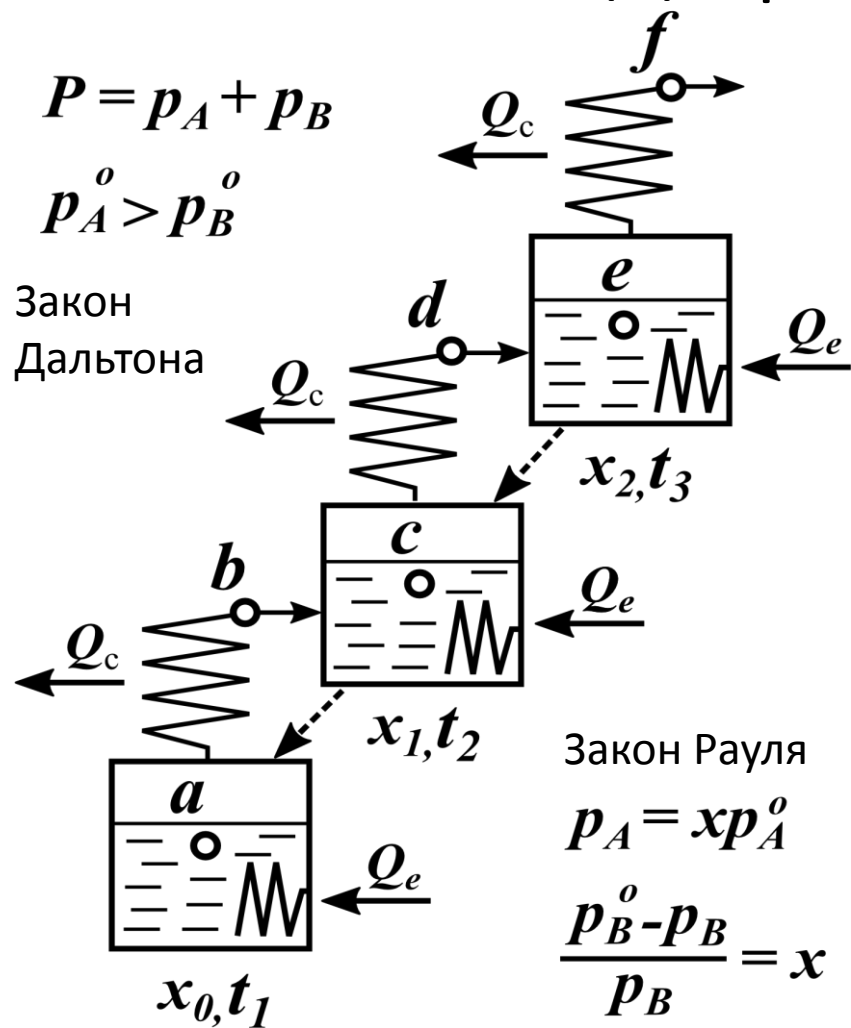
Описание MuCap



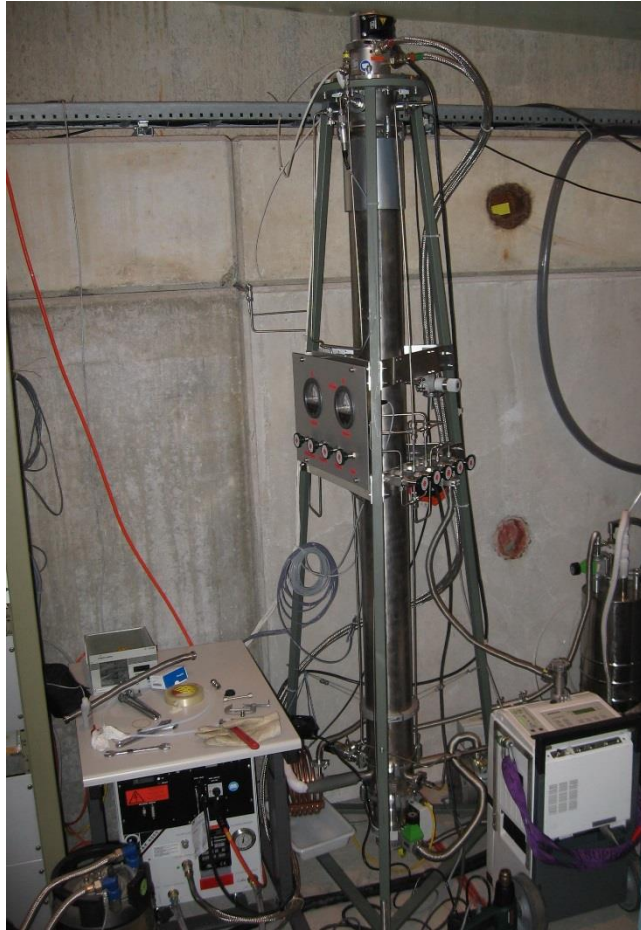
Предпосылки эксперимента

- Требовался изотопно-чистый дейтерий для проведения сеанса для сравнения с результатами основного этапа эксперимента MuSun
- Требовался изотопно-чистый HD для подавления канала dd-синтеза

Основы метода ректификации



Криогенная ректификационная колонна



Конденсатор

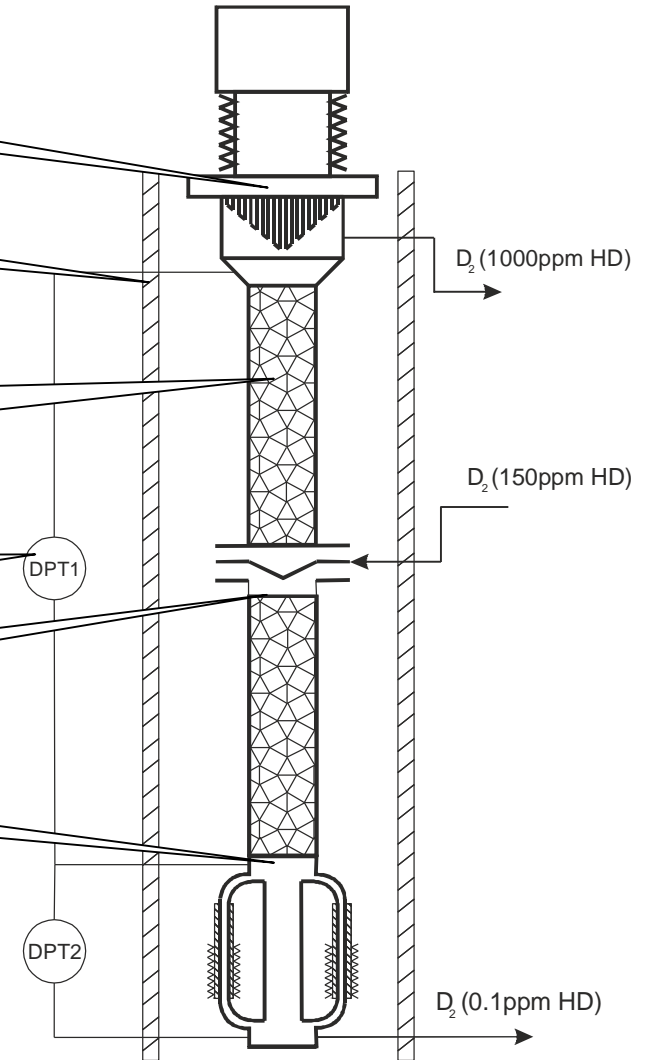
Азотный экран

Спирально-призматическая насадка

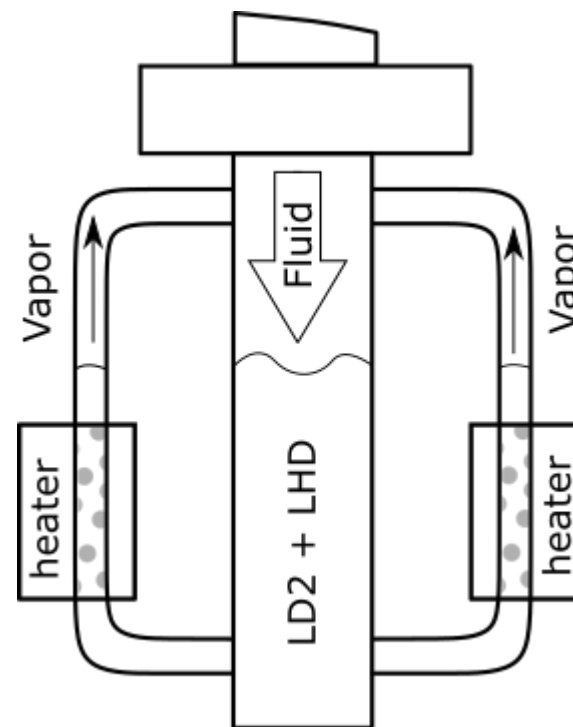
Дифференциальный манометр

Нормализатор потока

Ребойлер

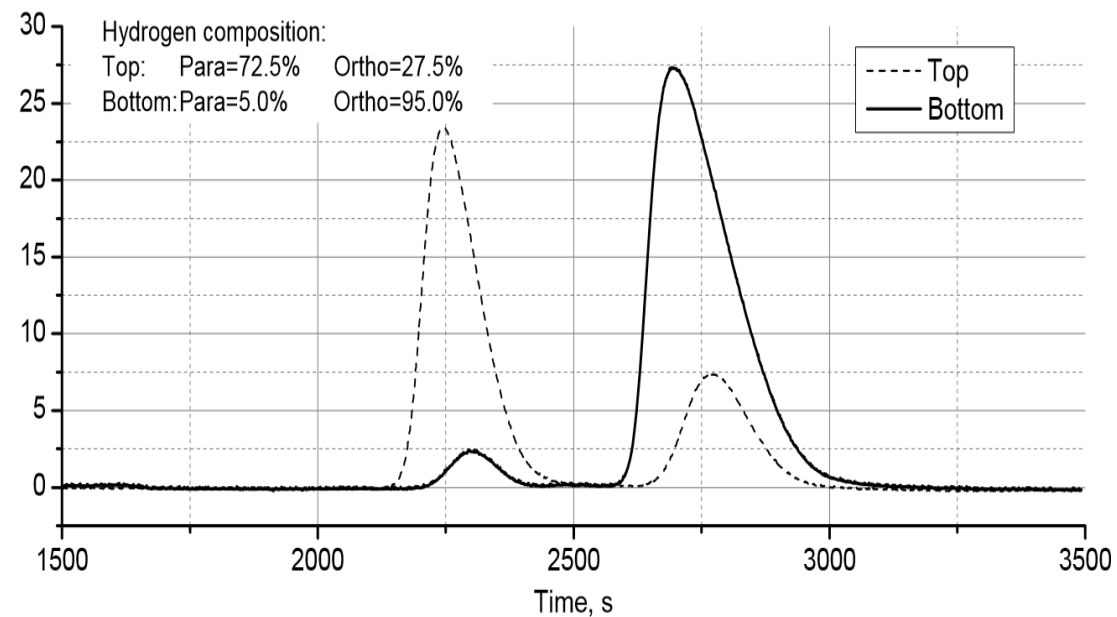
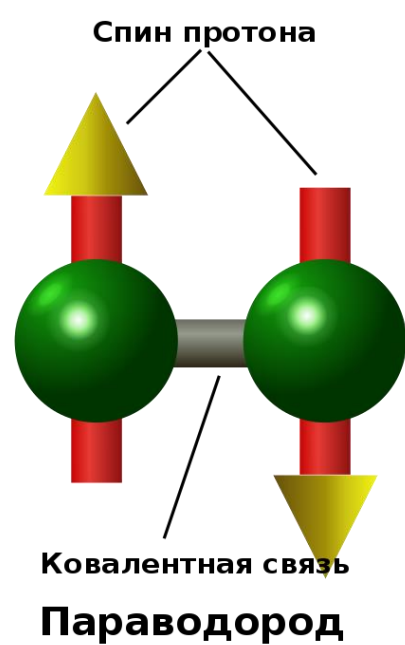
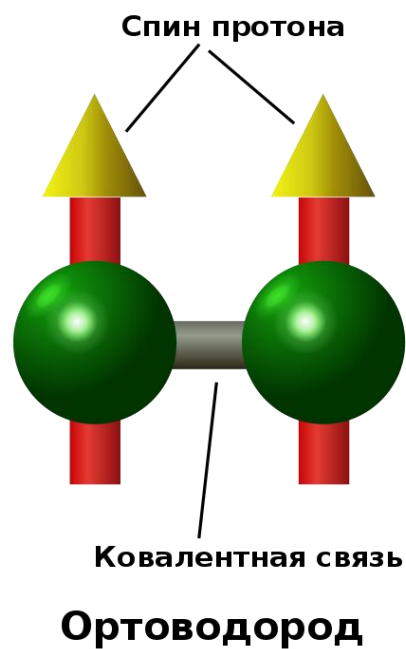


Технические особенности



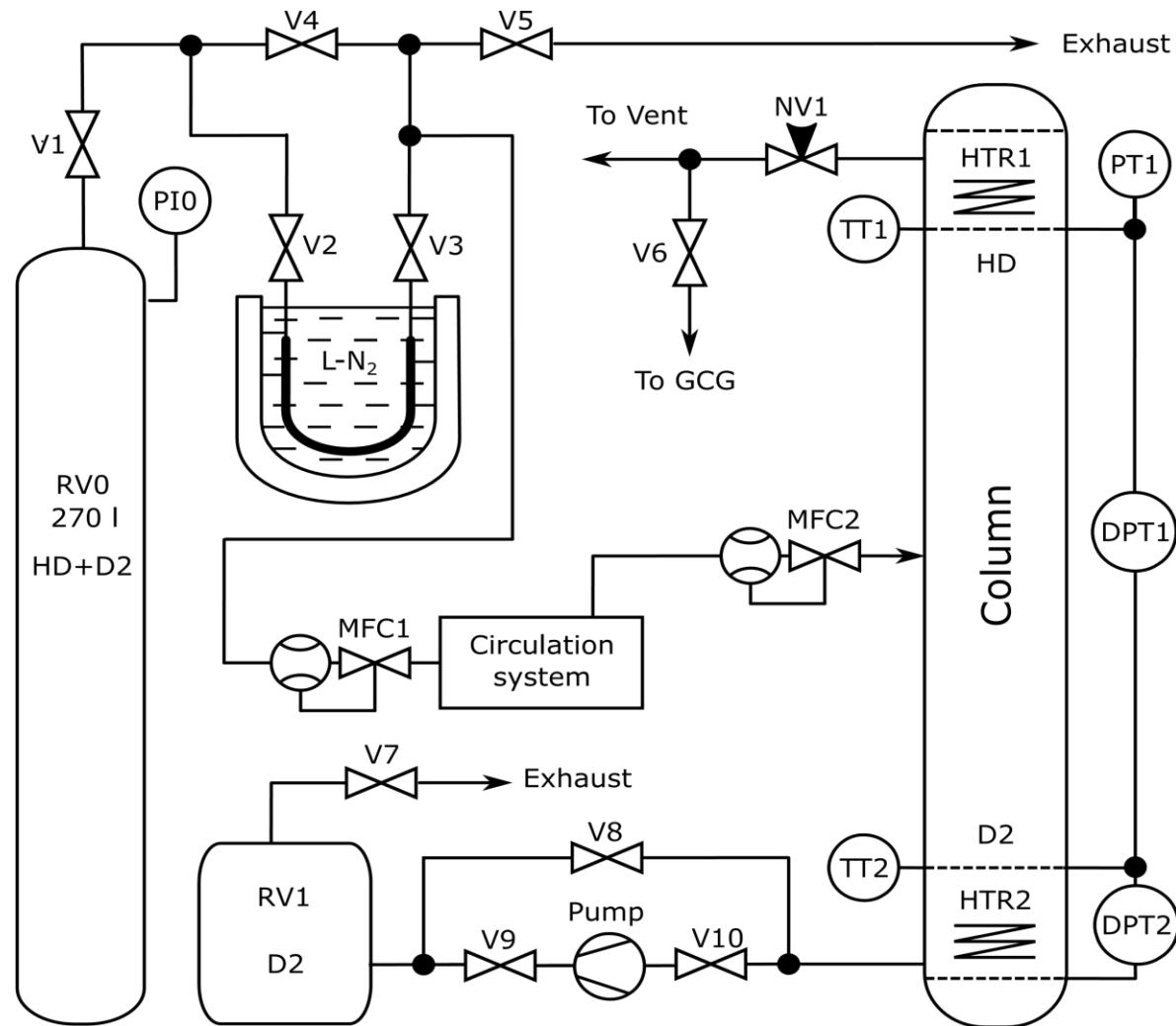
Исследование колонны

Спиновые изомеры молекулы водорода



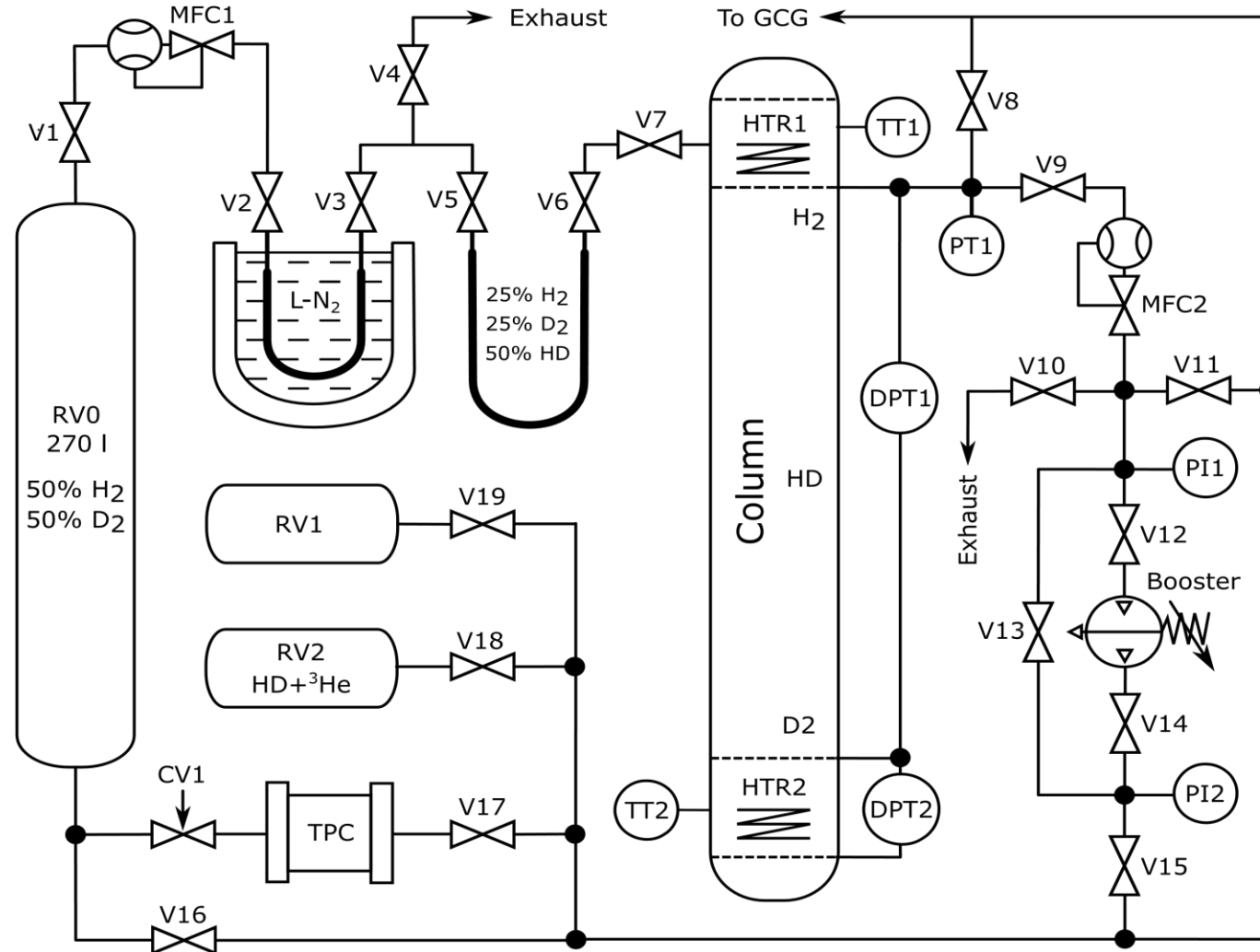
Метод непрерывного разделения

Экспериментальный сеанс с использованием в качестве рабочего газа изотопно-чистого D2 (2020)

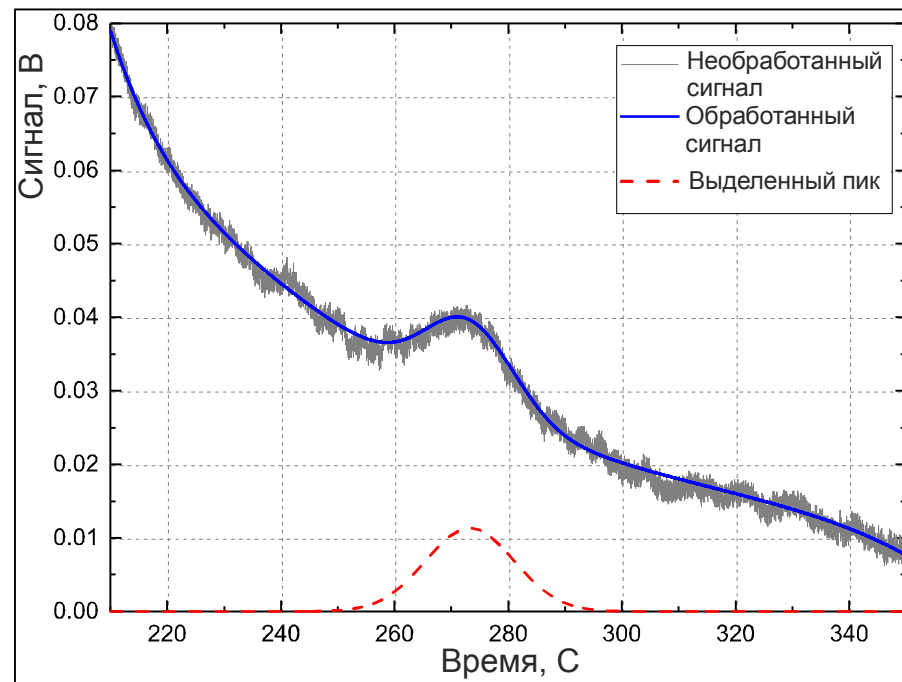
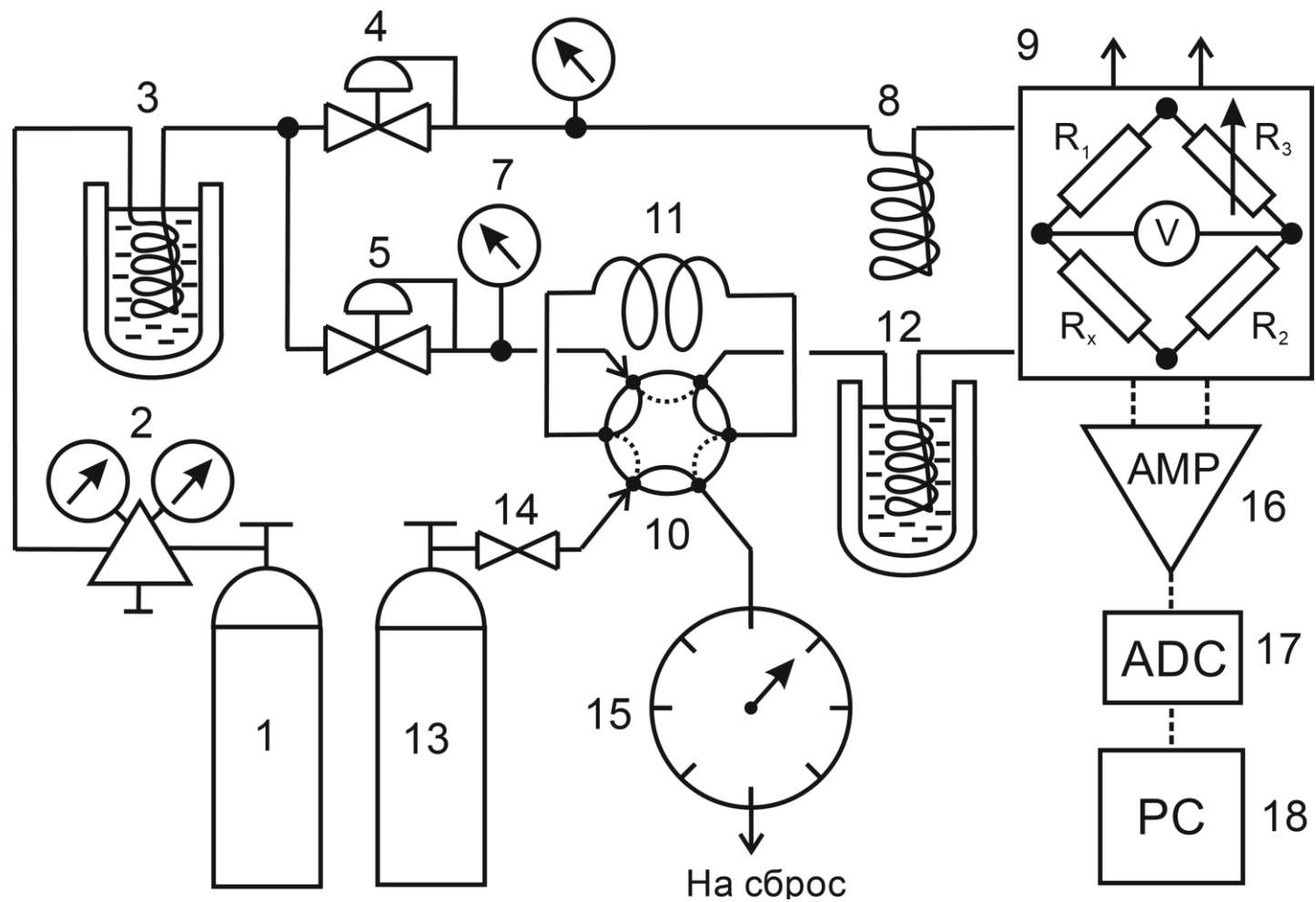


Описание процесса получения HD (фракционная перегонка)

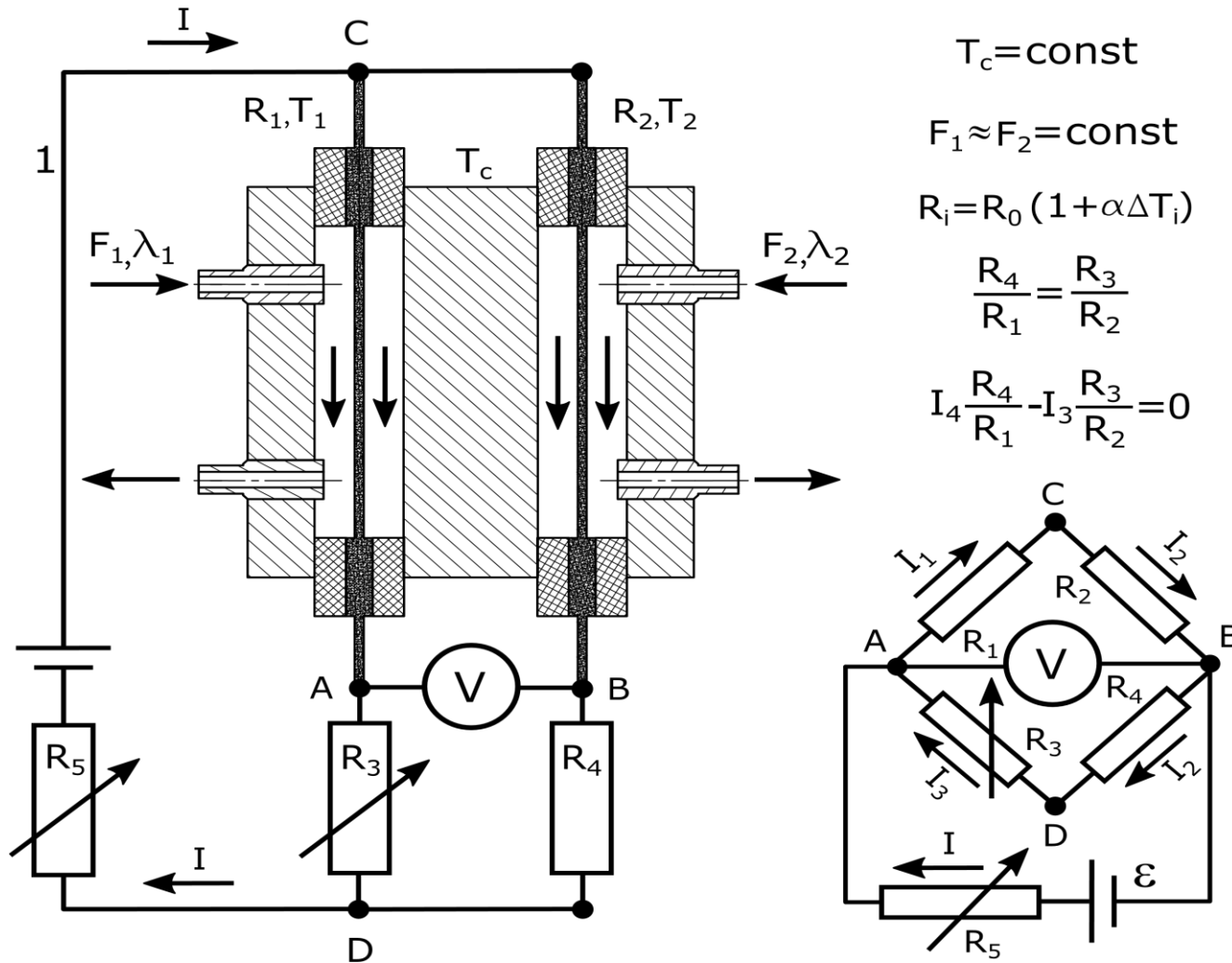
Экспериментальный сеанс с использованием в качестве рабочего газа изотопно-чистого HD (2021)

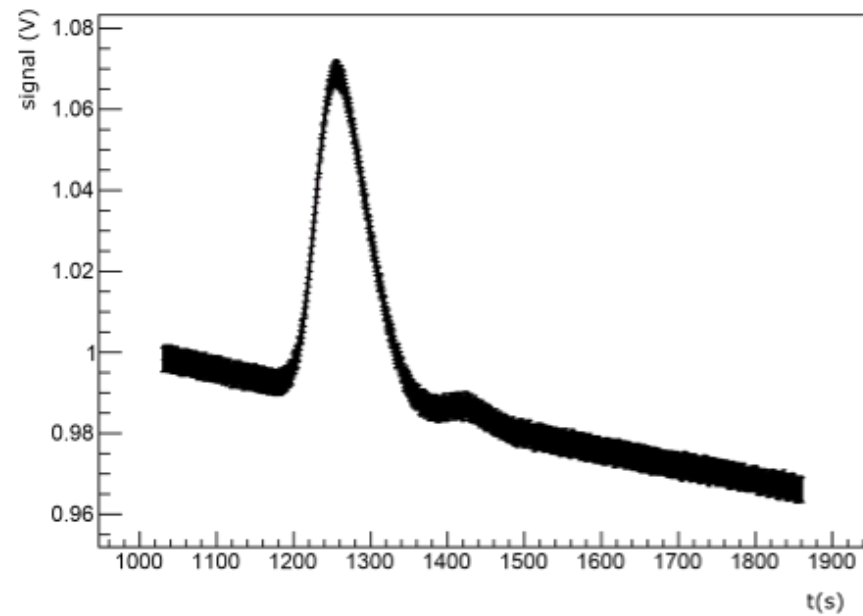
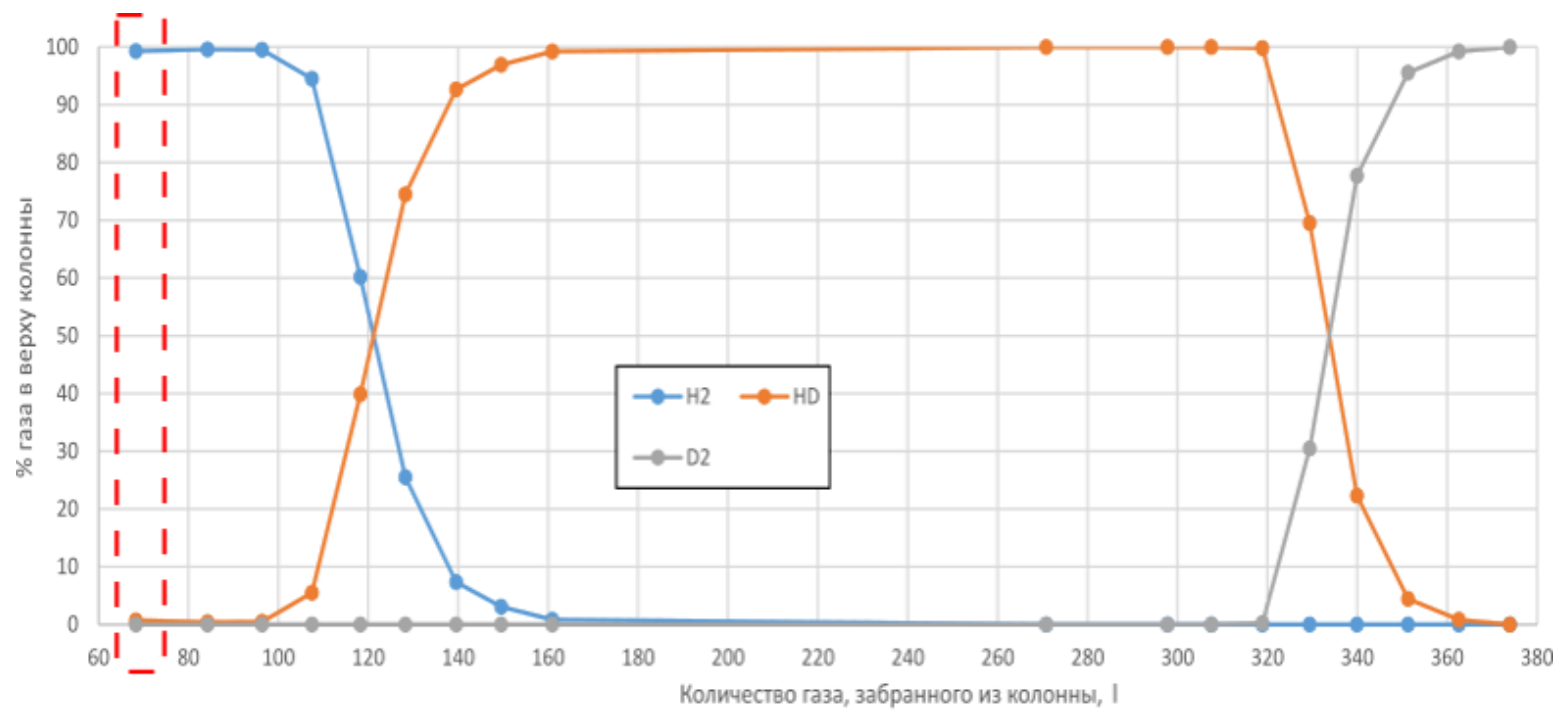


Хроматография



Принцип работы детектора теплопроводности (катарометра)





№ пробы	Время	Литров от начала	%H ₂	%HD	%D ₂
1	9:19:00	68.3	99.3	0.7	0.0
2	9:47:00	84.2	99.6	0.4	0.0
3	10:09:00	96.4	99.5	0.5	0.0
4	10:29:00	107.5	94.5	5.5	0.0
5	10:48:00	118.3	60.1	39.9	0.0
6	11:06:00	128.3	25.5	74.5	0.0
7	11:26:00	139.6	7.3	92.7	0.0
8	11:44:00	149.6	3.1	96.9	0.0
9	12:04:00	160.9	0.8	99.2	0.0
10	15:16:00	270.8	0.0	100.0	0.0
11	16:03:00	297.8	0.0	100.0	0.0
12	16:21:00	307.5	0.0	100.0	0.0
13	16:40:00	318.9	0.0	99.8	0.2
14	16:59:00	329.4	0.0	69.5	30.5
15	17:17:00	339.9	0.0	22.3	77.7
16	17:37:00	351.3	0.0	4.4	95.6
17	17:57:00	362.6	0.0	0.8	99.2
18	18:17:00	374.0	0.0	0.0	100.0

Заключение

- В результате работы удалось создать необходимые условия для проведения эксперимента по исследованию мезокатализированного синтеза D^3He .
- Это позволило набрать примерно 50% от необходимых данных которые сейчас находятся в обработке.
- Такой успех послужил весомым доводом для комиссии PSI для предоставления пучкового времени в 2022 году.

Спасибо за внимание