



Поиск мюонного катализа ядерного d^3He синтеза



П. Кравченко
коллаборация
MuSun





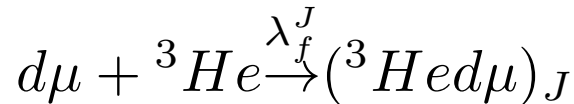
Мюонный катализ позволяет изучать реакцию при практически нулевой энергии $E \leq 1\text{keV}$

Синтез происходит в ${}^3\text{Hed}\mu$ мезомолекуле



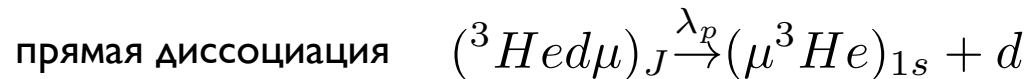
Формирование молекулы происходит при столкновении медленных атомов

Yu.A. Aristov, A.V. Kravtsov, N.P. Popov *Yad.Fiz.* 33 (1981)1066

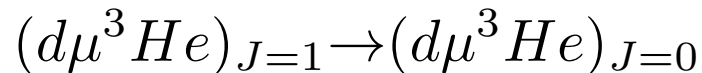


Распад

L.N. Bogdanova, S.S. Gershtein, L.I. Ponomarev *PSI-PR-97-33 October 1997*



Переход



M.P. Faifman, L.I. Men'shikov *Hyperfine Int.* 118, 187 (1999)

как следствие **наблюдаемый** $d\mu^3\text{He}$ ядерный синтез со скоростью реакции $\lambda_f = P_0\lambda_f^0 + P_1\lambda_f^1$

$$\lambda_f = 2.5 \cdot 10^4 \text{s}^{-1}, \quad \lambda_f(J=0) = 2.5 \cdot 10^5 \text{s}^{-1}, \quad \lambda_f(J=1) = 6.5 \cdot 10^2 \text{s}^{-1}$$

Регистрация синтеза в мюонном катализе - важное подтверждение теории MCF

L.Bogdanova, M. Faifman, V.Korobov (Moscow, Russia)

Астрофизический интерес:

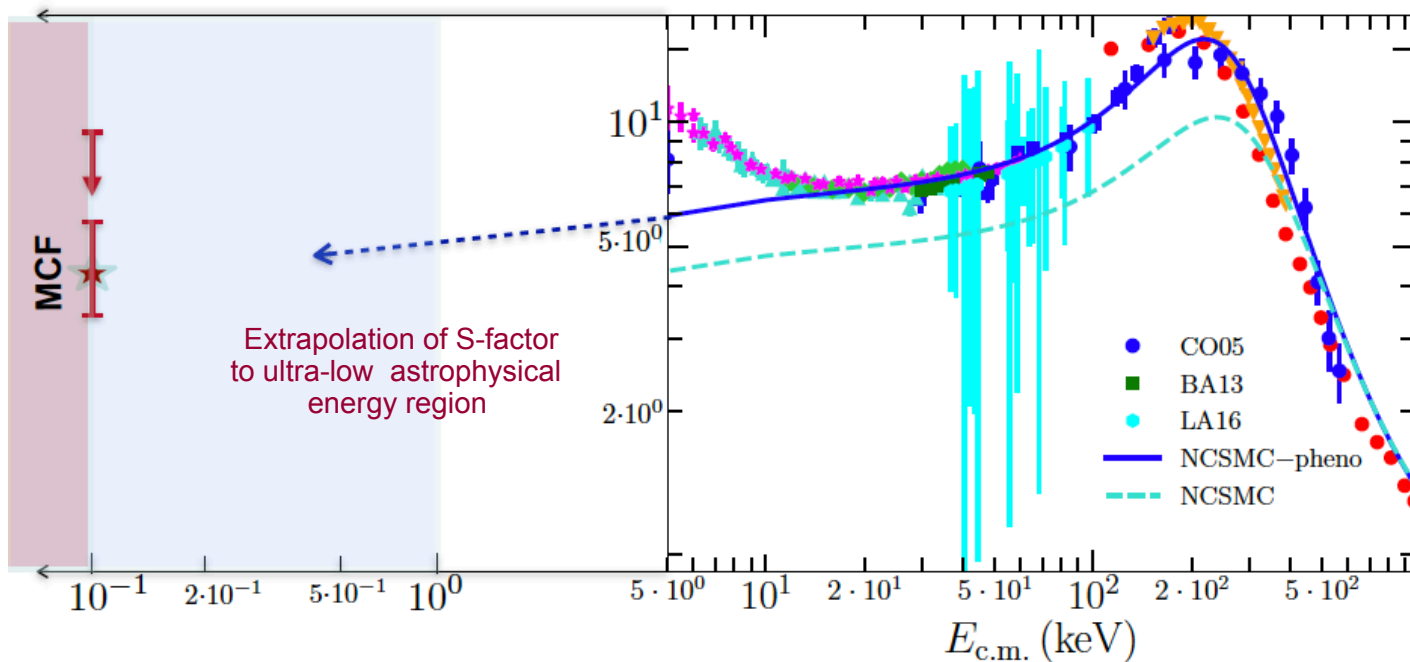
уникальная возможность измерить скорость реакции в области сверх-низких энергий без влияния электронного экранирования

R-matrix theory

R.S.de Souza, C.Iliadis, A. Coc

Ab initio many body calculations

G. Hupin, S.Quaglioni, P.Navratil





Регистрация синтеза в мюонном катализе - важное подтверждение теории MFC

L.Bogdanova, M. Faifman, V.Korobov (Moscow , Russia)

Астрофизический интерес:

уникальная возможность измерить скорость реакции в области сверх-низких энергий без влияния электронного экранирования

R-matrix theory

R.S.de Souza, C.Iliadis, A. Coc

Ab initio many body calculations

G. Hupin, S.Quaglioni, P.Navratil

Прикладные задачи в ядерной физике

Использование лазеров в ядерной астрофизике

Альтернативный подход в создании новых источников энергии

Поляризационные эффекты в сечении реакций синтеза



Регистрация синтеза в мюонном катализе - важное подтверждение теории MFC

L.Bogdanova, M. Faifman, V.Korobov (Moscow , Russia)

Астрофизический интерес:

уникальная возможность измерить скорость реакции в области сверх-низких энергий без влияния электронного экранирования

R-matrix theory

R.S.de Souza, C.Iliadis, A. Coc

Ab initio many body calculations

G. Hupin, S.Quaglioni, P.Navratil

26 October 2020

PREFER meets AsFiN Workshop

Polarization REsearch for Fusion Experiments and Reactors (PREFER)

And

**AsFiN (AstroFisica Nucleare)
merging interests**

Прикладные задачи в ядерной физике

Использование лазеров в ядерной астрофизике

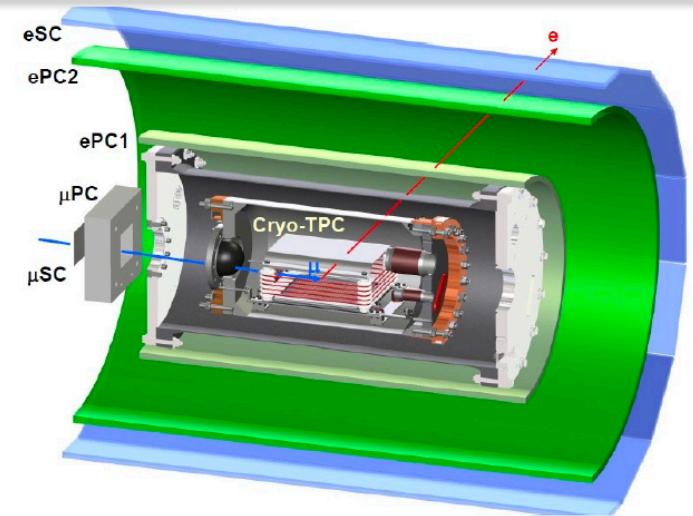
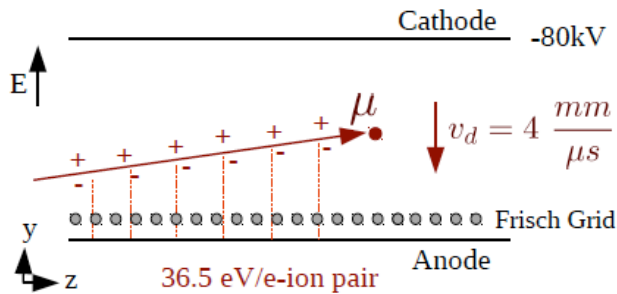
Альтернативный подход в создании новых источников энергии

Поляризационные эффекты в сечении реакций синтеза

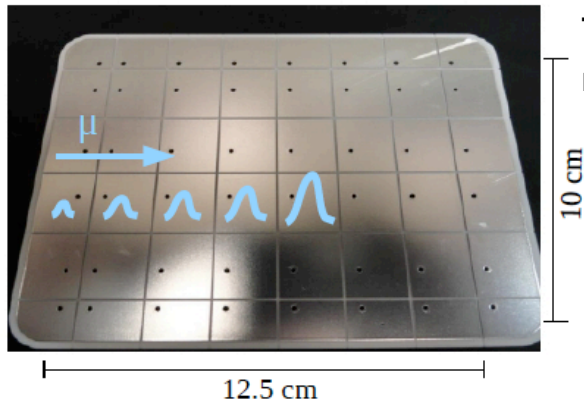
Participants:

R.G.Pizzone, M. La Cognata (**THM method**), M.Viviani, A.Deltuva

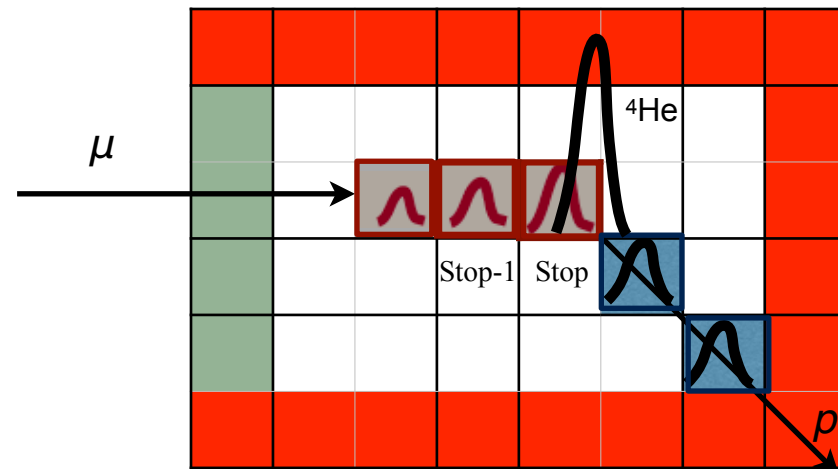
Главная цель эксперимента MuSun -
измерение времени жизни мюона в чистом D2



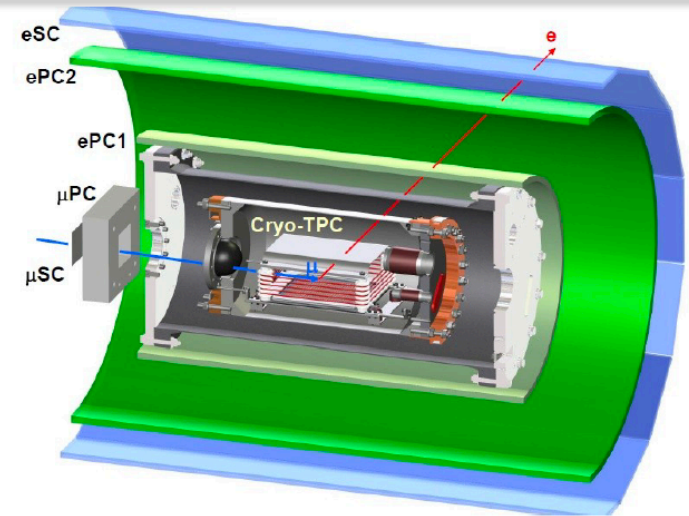
Ключевой элемент установки
TPC - криогенная время-проекционная камера (31К, 5bar)
как активная газовая мишень и детектор заряженных частиц



TPC детектирует мюоны, кот. остановились в центре,
а так же заряженные продукты реакции



Главная цель эксперимента MuSun -
измерение времени жизни мюона в чистом D2



MuSun обладает уникальной возможностью зарегистрировать синтез в мюонном катализе **благодаря:**

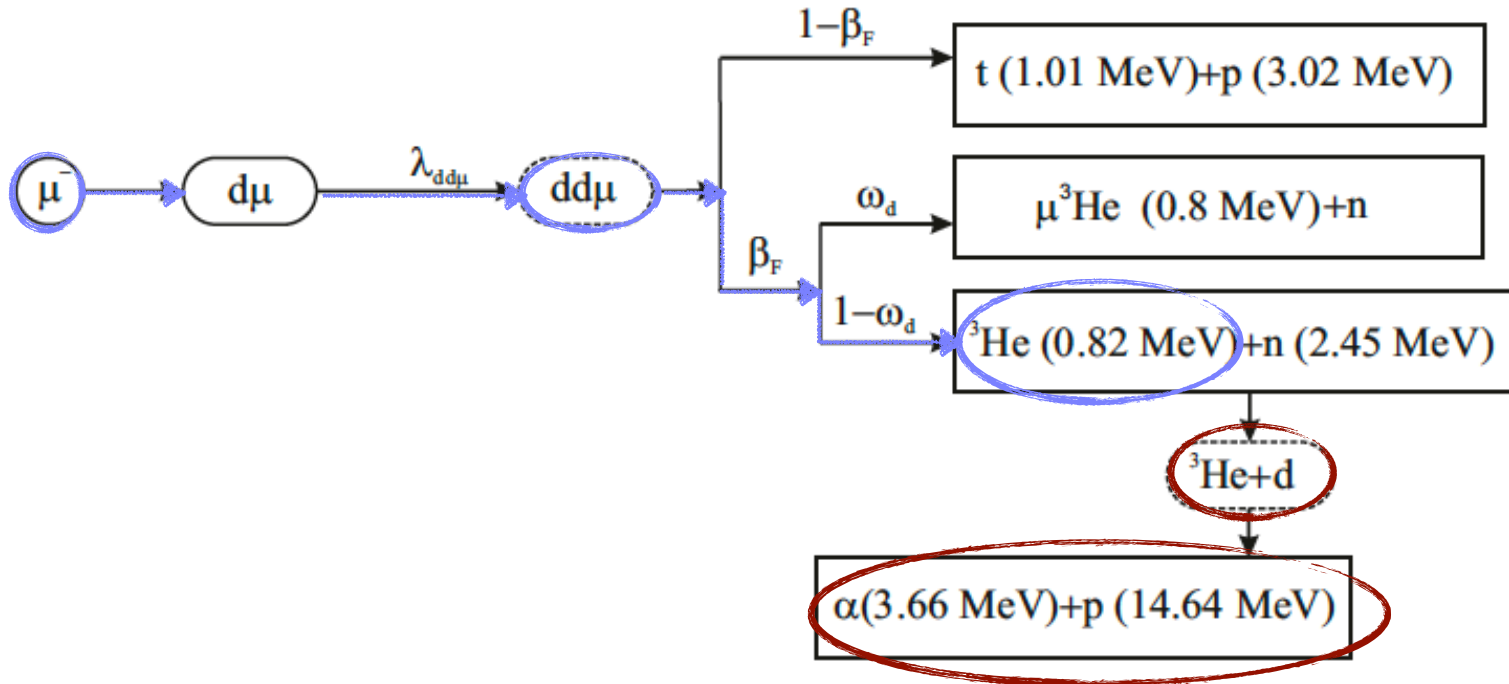
- высокая детектирующая способность
- низкий и хорошо контролируемый фон

Основано на результатах:

- Run8 9 недель эксперимент с TPC заполненной чистым D2
- Run9 1 неделя тестовый эксперимент с D2+ ³He газовой смесью

Run8 (2015)

Схема реакции мюонного катализа ядерного синтеза в D₂

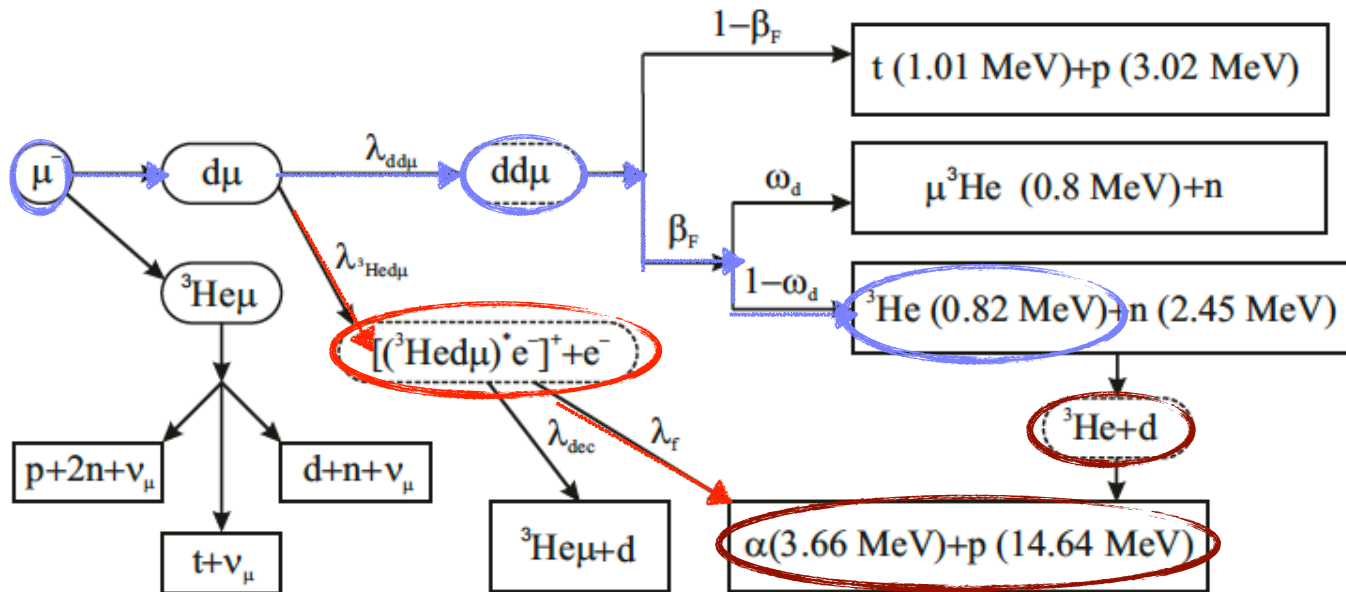


"синтез на лету"



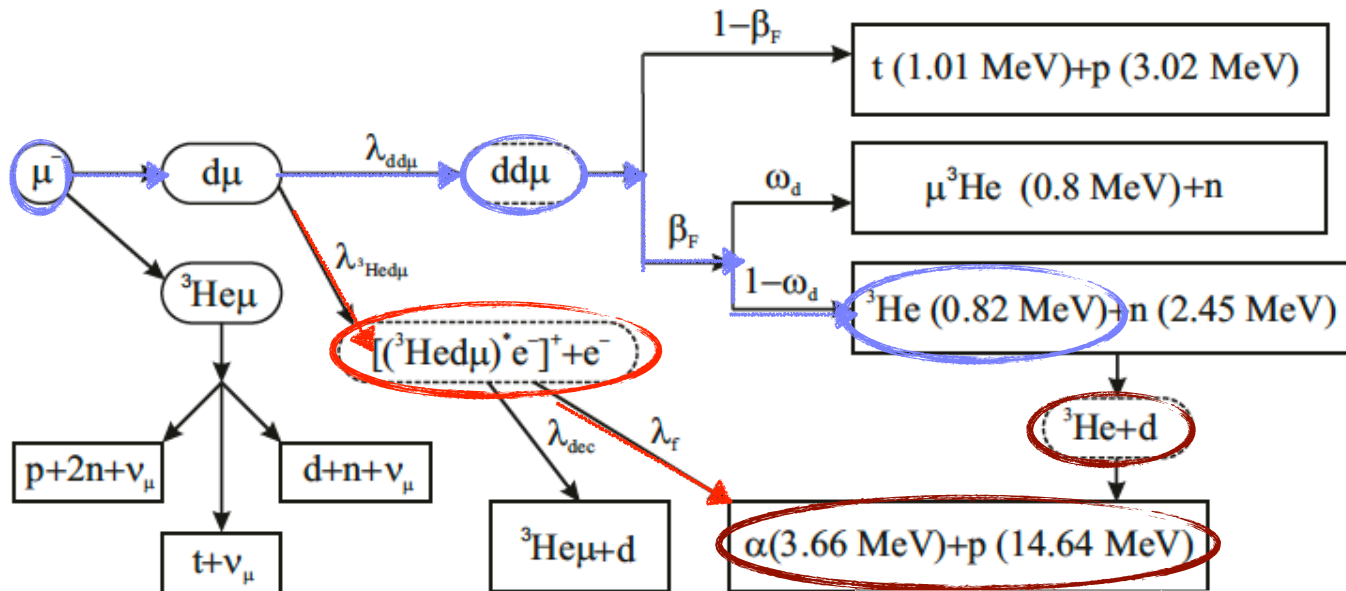
Run9 (2016)

Схема реакции мюонного катализа ядерного синтеза в $D_2 + 5\% \text{ } ^3\text{He}$



Run9 (2016)

Схема реакции мюонного катализа ядерного синтеза в D2 + 5% ³He



$$N_{d\mu^3He} = 1.4 \cdot 10^8$$

число образовавшихся $d\mu^3He$ молекул

Статистика

run	μ	Weeks	Ntot	NFinF/ Npileup
Run8	1.3E+10	9	99	77/22
Run9	1.0E+09	1	2	1.9/0.34

скорость распада

$$\lambda_{dec} = 7 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$$

эффективность регистрации

$$\epsilon_f = 0.30$$

верхний предел вероятности синтеза в $d^3He\mu$ молекуле

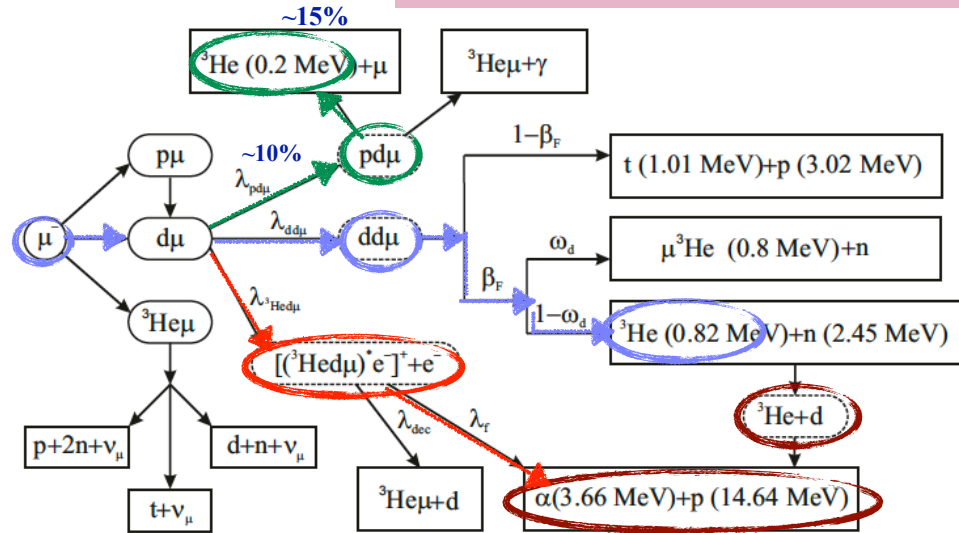
$$P_{fusion}(d^3He\mu) \leq 9.0 \cdot 10^{-8} \text{ at } 90\% C.L.$$

верхний предел эффективной скорости d^3He синтеза

$$\lambda_f \leq 6.3 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1} \text{ at } 90\% C.L.$$

Run10 (2020)

Схема реакции мюонного катализа ядерного синтеза в HD + 5% ^3He



Для увеличения чувствительности регистрации синтеза

- эксперимент с газовой смесью HD+5% ^3He **x 1/4** “fusion-in-flight” фон
- модификация электроники для TPC **x 3** **d + ^3He синтез**
- полноценный сеанс **x 4**

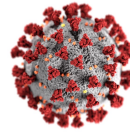
The BV51 User meeting 2020
 PAC approval

Run10 (2020) предварительный тестовый сеанс

8 TB experimental data for analysis

run	μ stop	Weeks	Expectation
Run9	7.70E+08	1	
Run10	2.1E+08	1	2.0E+09

Объективные трудности



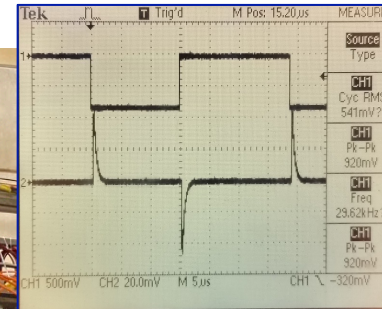
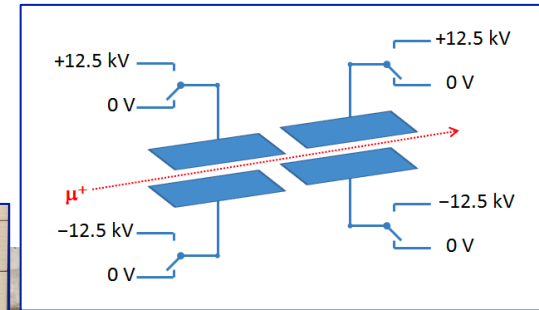
- Ограничения по времени
1 неделя набора
производство недостаточного количества HD **25%**
- Новые правила техники безопасности, ограничения на работу kicker'a **1/2**
- Интенсивность мюонного пучка **25%**
- Без контроля чистоты газа

Run10 (2021) физический сеанс

май-июнь

Технические работы :

- документация по технике безопасности,
- электрические работы,
- запуск kicker'а



Run10 (2021) физический сеанс

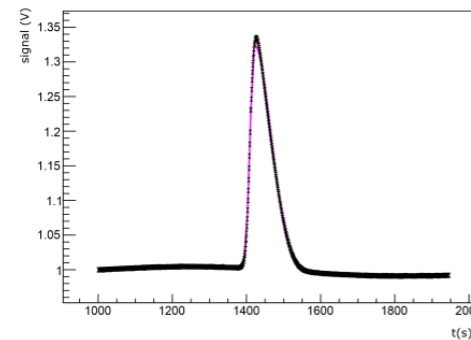
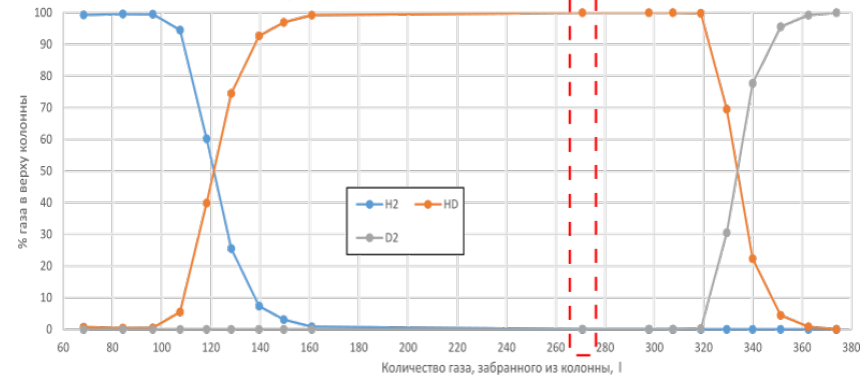
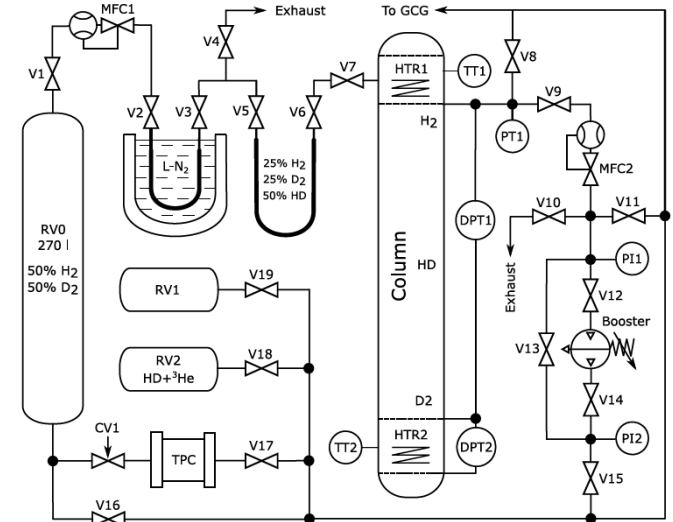
май-июнь

Технические работы :

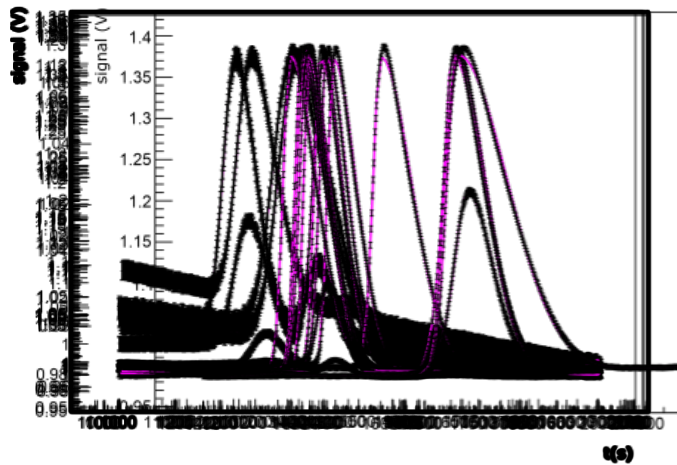
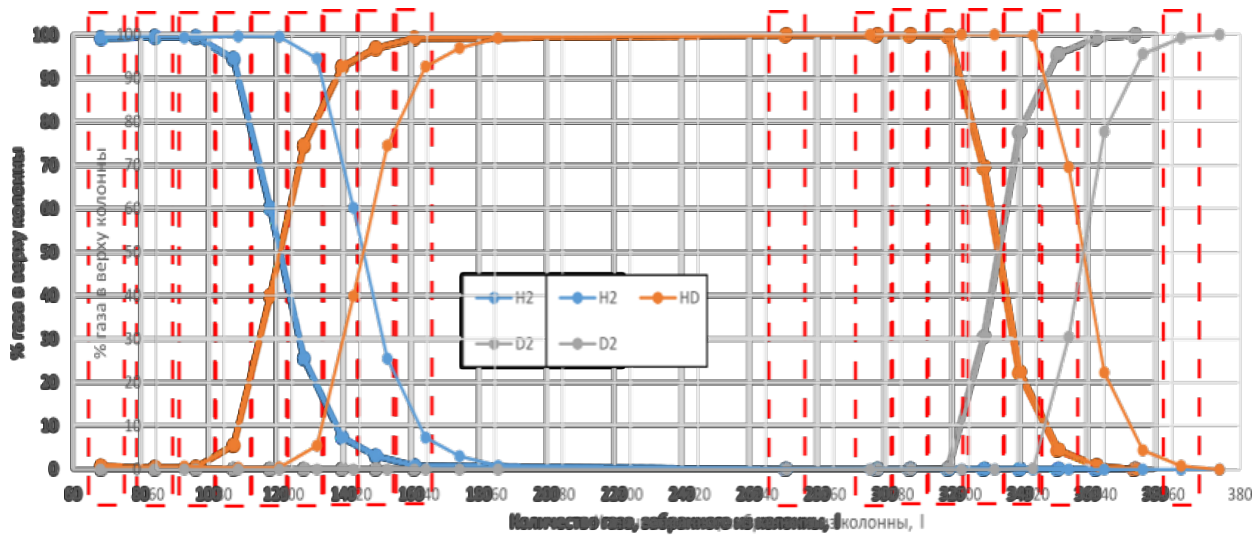
- документация по технике безопасности,
- электрические работы,
- запуск kicker'а

июль-сентябрь

- производство HD



№ 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



№ пробы	№ Проб	Литры от начала	Литры от %H ₂ для	%HD	%D ₂	%D ₂
1	9:19:00	9.483	99.3	0.7	0.0	0.0
2	9:47:00	9.842	99.6	0.4	0.0	0.0
3	10:09:00	10.964	99.5	0.5	0.0	0.0
4	10:29:00	10.875	94.5	5.5	0.0	0.0
5	10:48:00	10.883	60.1	39.9	0.0	0.0
6	11:06:00	11.223	25.9	74.5	0.0	0.0
7	11:26:00	11.39.6	7.9	92.7	0.0	0.0
8	11:46:00	11.40.6	3.1	96.9	0.0	0.0
9	12:04:00	12.10.0	0.9	99.2	0.0	0.0
10	13:16:00	13.270.0	0.0	100.0	0.0	0.0
11	14:08:00	14.297.0	0.0	100.0	0.0	0.0
12	14:21:00	14.307.5	0.0	100.0	0.0	0.0
13	14:40:00	14.318.0	0.0	99.0	0.2	0.2
14	14:59:00	14.320.4	0.0	69.5	30.5	0.0
15	17:17:00	17.339.0	0.0	22.3	77.7	0.0
16	17:37:00	17.351.3	0.0	4.4	95.6	0.0
17	17:57:00	17.362.6	0.0	0.0	99.2	0.8
18	18:17:00	18.374.0	0.0	0.0	100.0	0.0

Run10 (2021) физический сеанс

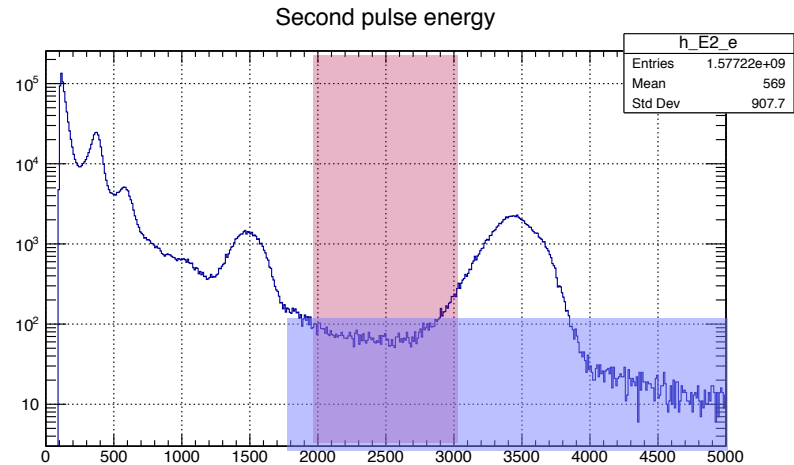
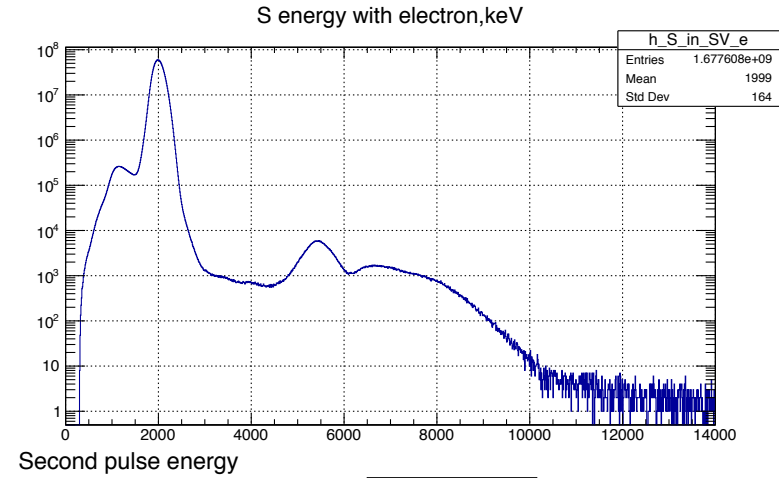
май-июнь

Технические работы :

- документация по технике безопасности,
- электрические работы,
- запуск kicker'a

июль-сентябрь

- производство HD
- физический сеанс



run	μ stop	Weeks	Expectation	Ntot	NFinF
Run8	1.3E+10	9			
Run9	1.0E+09	1		2	1.9
Run10(2021)	2.0E+09	3	4.0E+09	20	2

Сеанс 2021 года подтвердил работоспособность экспериментальных методик и установки в целом.

На 2022 год запланирован новый физический сеанс по набору оставшейся части данных, необходимой для получения результата с заданной точностью, в условиях аналогичных проведенному.

Спасибо!

