

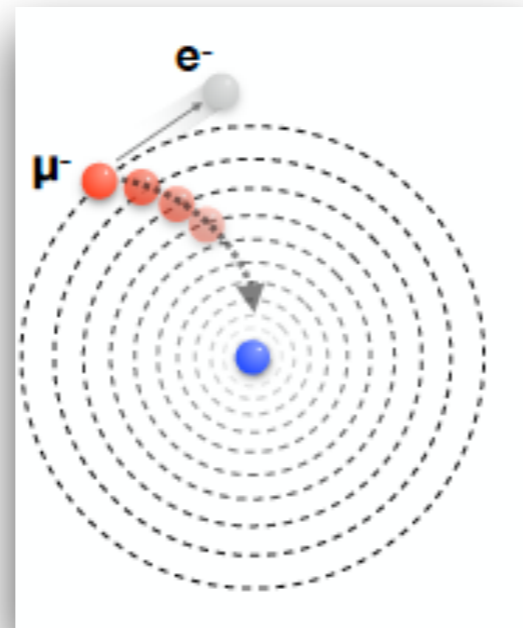
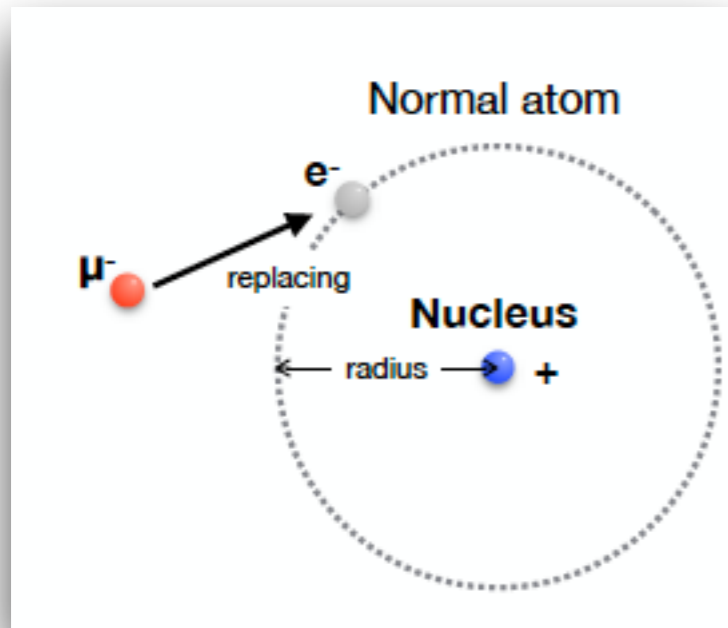


Изучение реакций синтеза легких ядер

Поиск мюонного катализа
ядерного d^3He синтеза

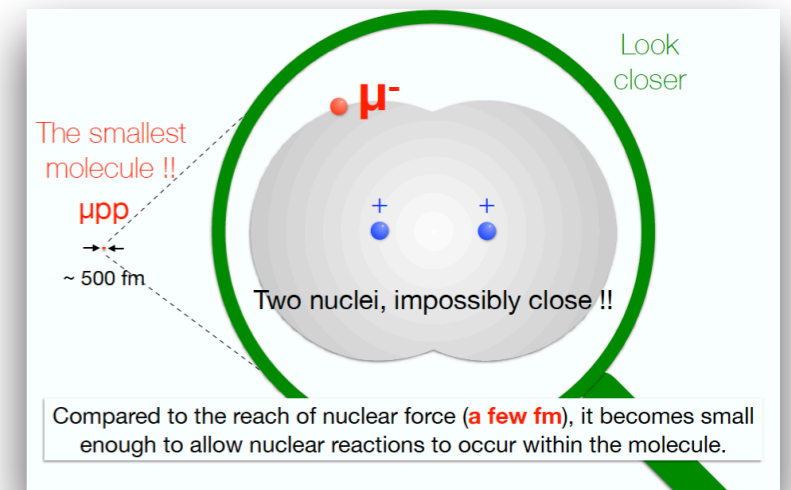
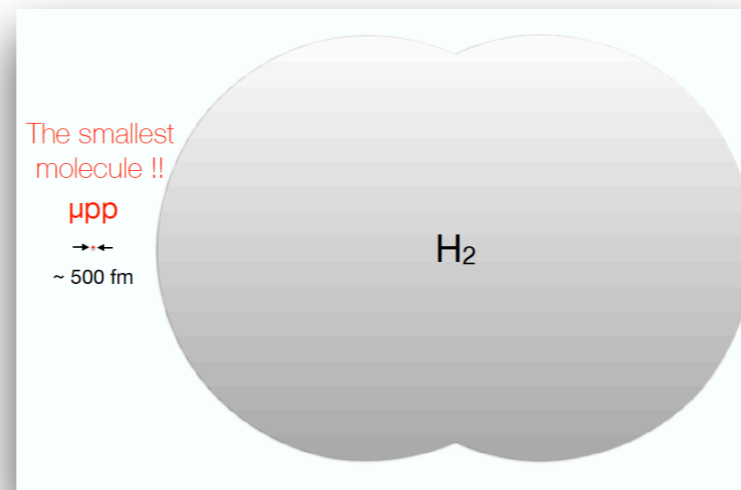
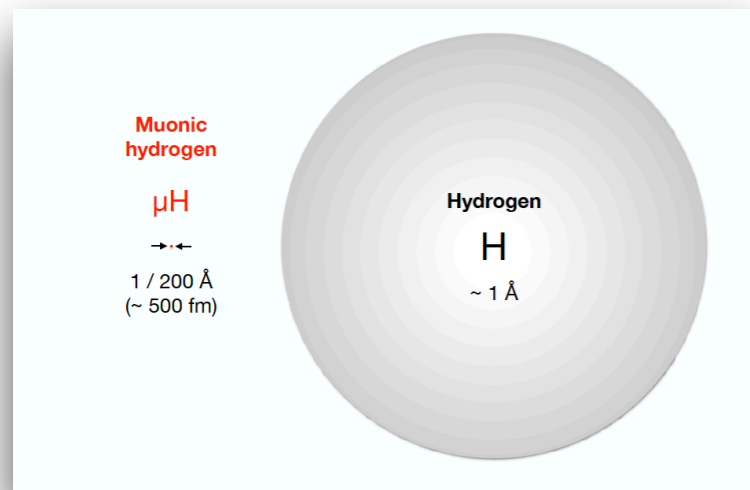


П. Кравченко



$$m_{\mu} \approx 207 m_e$$

Мюон может образовывать связанные системы совместно с ядрами изотопов водорода





Thermonuclear fusion

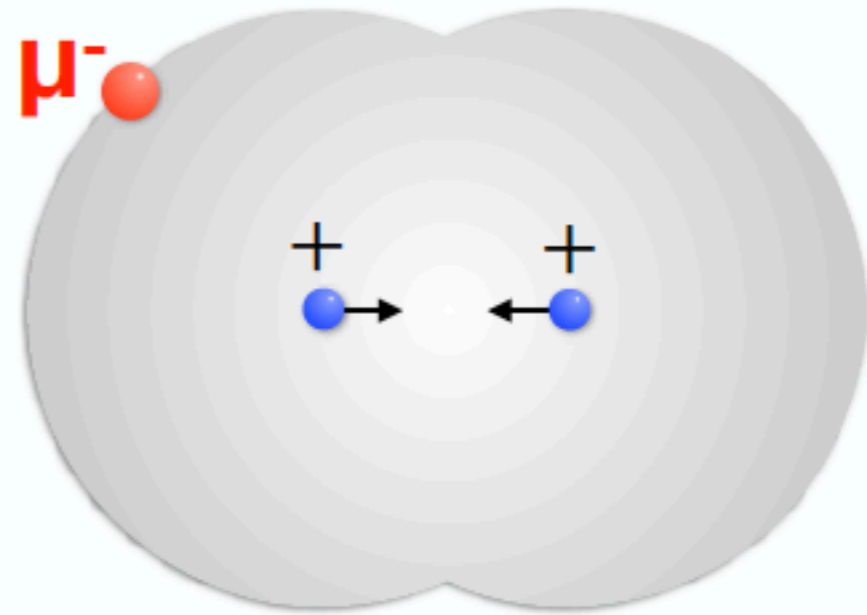
Vigorous collisions in plasma
at several hundred million
degrees Celsius



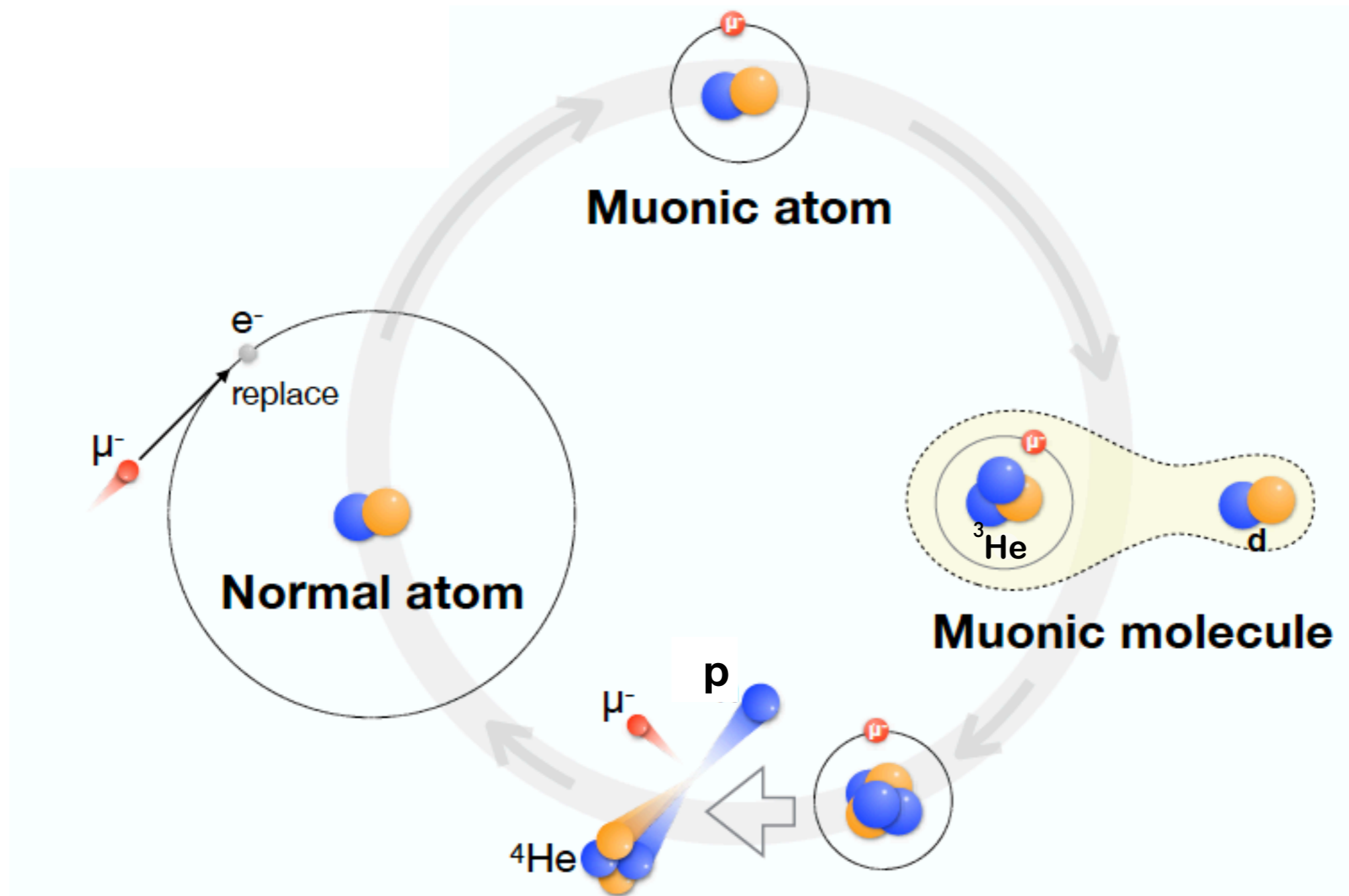
Large repulsion due to
electromagnetic force

Fusion with muons

**Nuclei easily approach
each other**



No repulsion by
electromagnetic forces
up to the size of a muonic
molecule



МСF эксперимент **предоставляет уникальную возможность** измерить скорость реакции в области сверх-низких энергий без влияния электронного экранирования



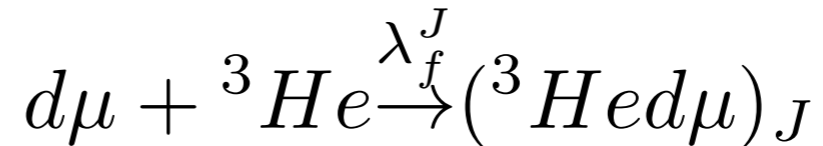
Мюонный катализ позволяет изучать реакцию при практически нулевой энергии $E \leq 1\text{keV}$

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

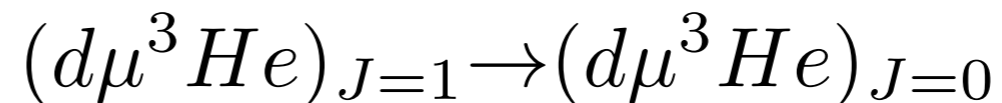


Распад

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



Переход

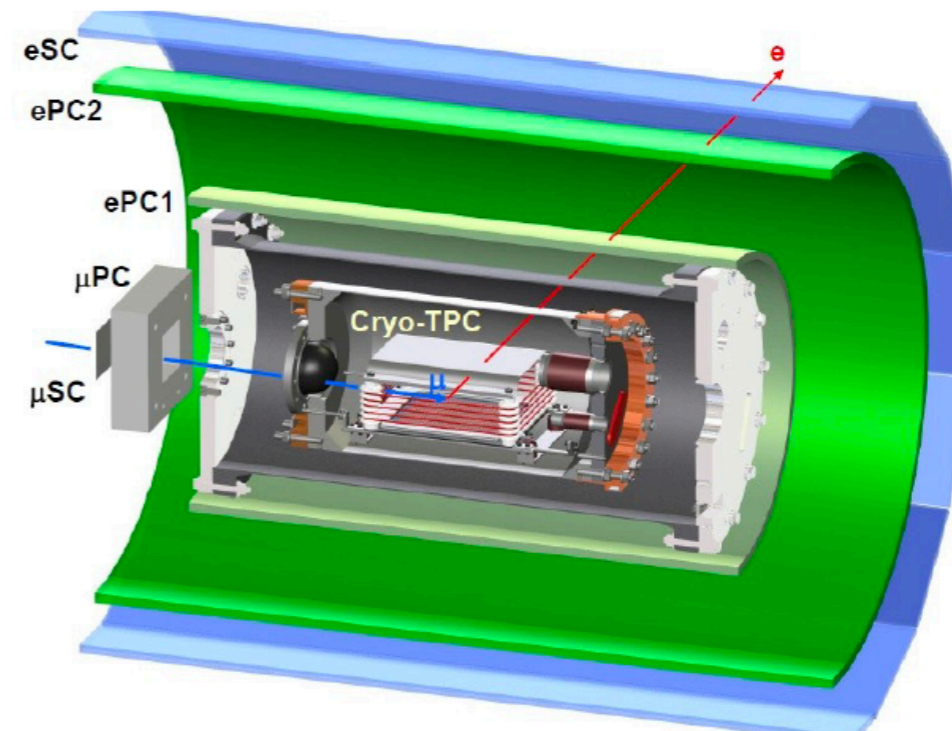
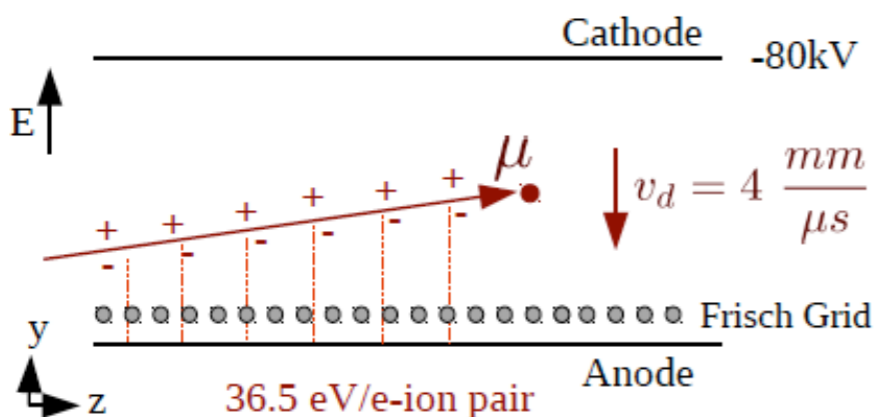


M.P. Faifman, L.I. Men'shikov *Hyperfine Int.* 118, 187 (1999)

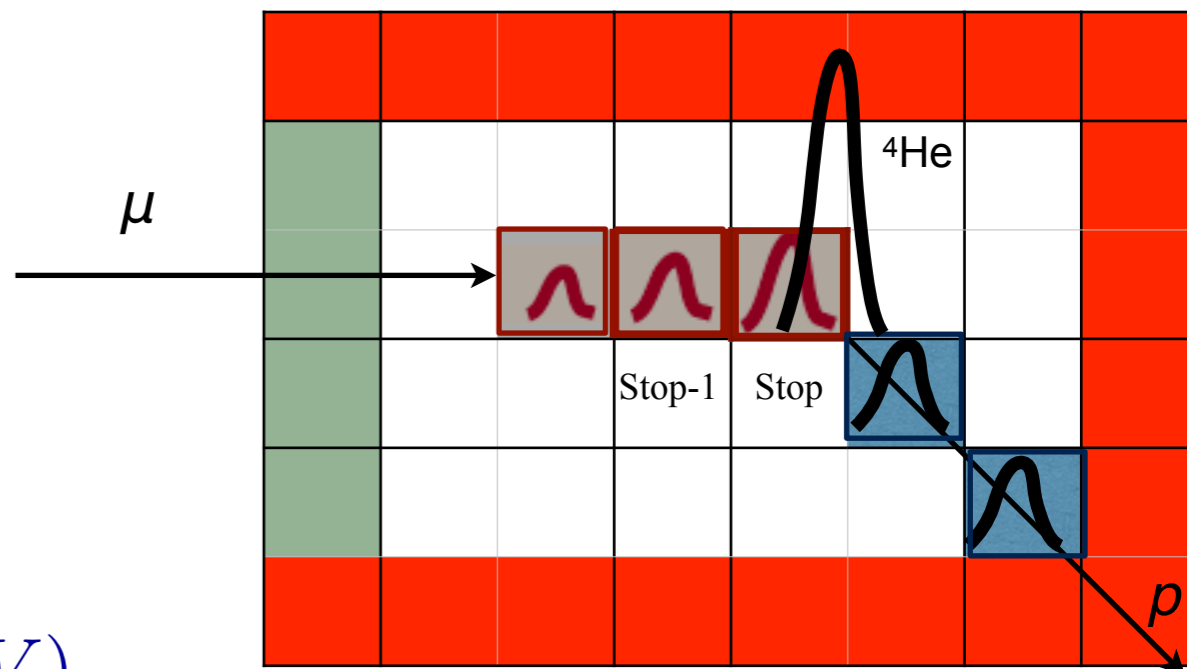
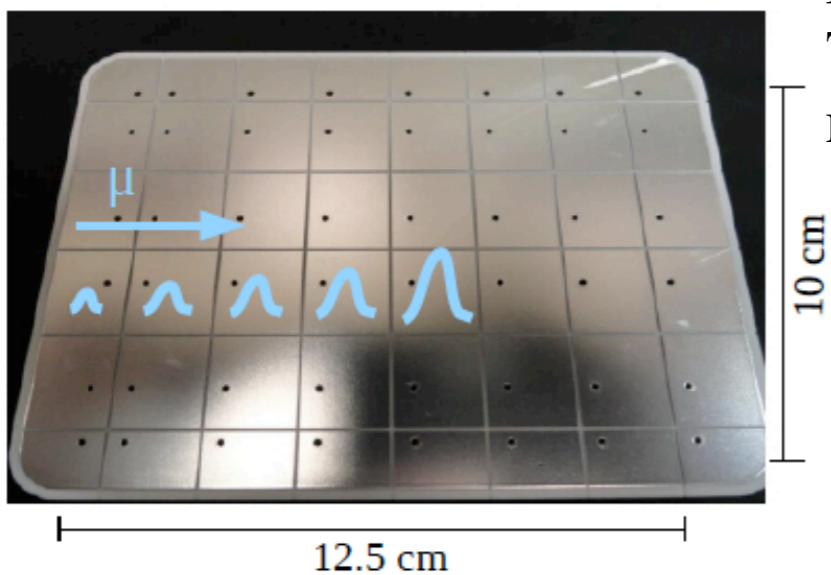
как следствие **наблюдаемый** $d\mu^3\text{He}$ ядерный синтез со скоростью реакции $\lambda_f = P_0\lambda_f^0 + P_1\lambda_f^1$

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

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



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



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



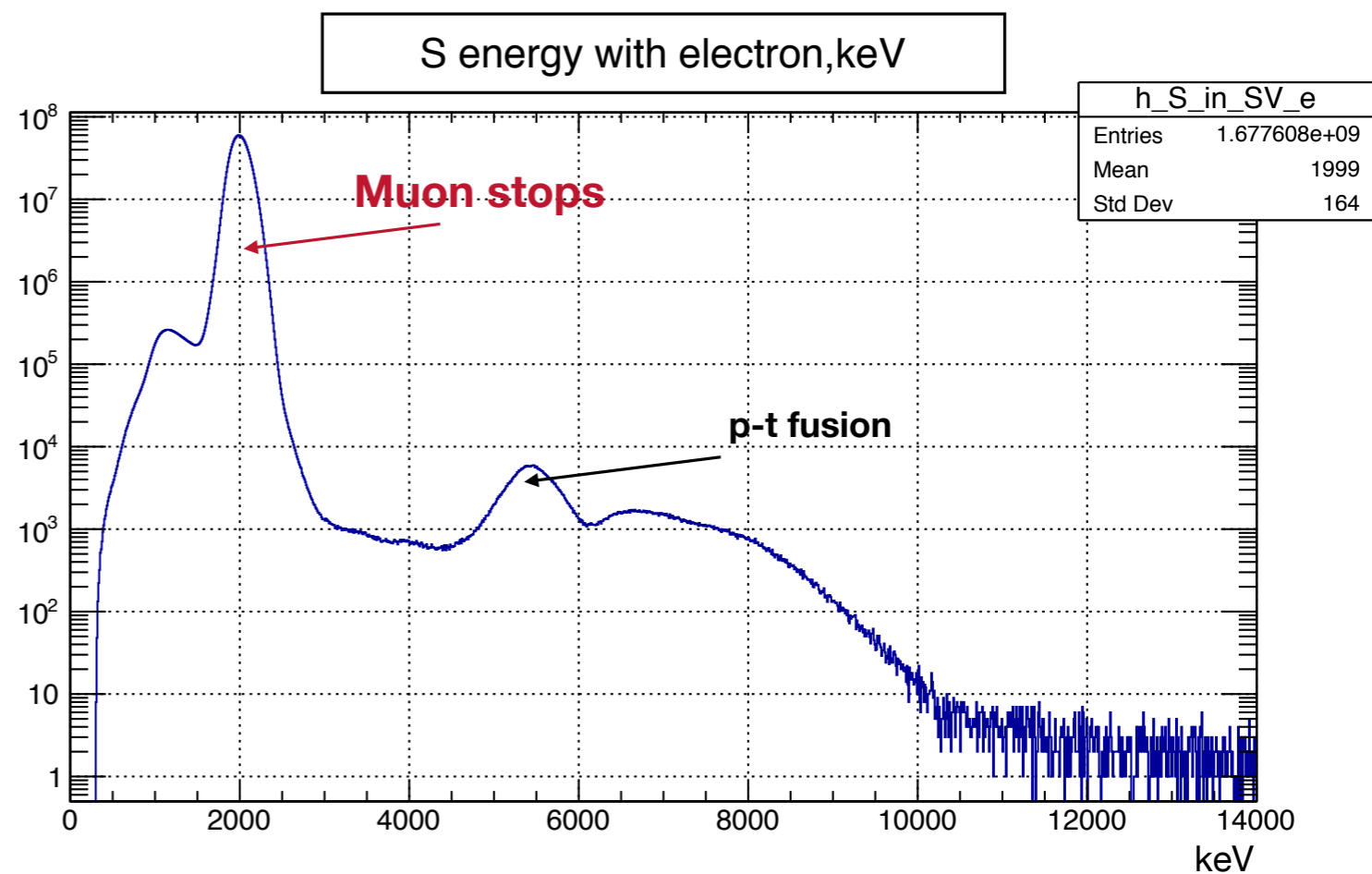
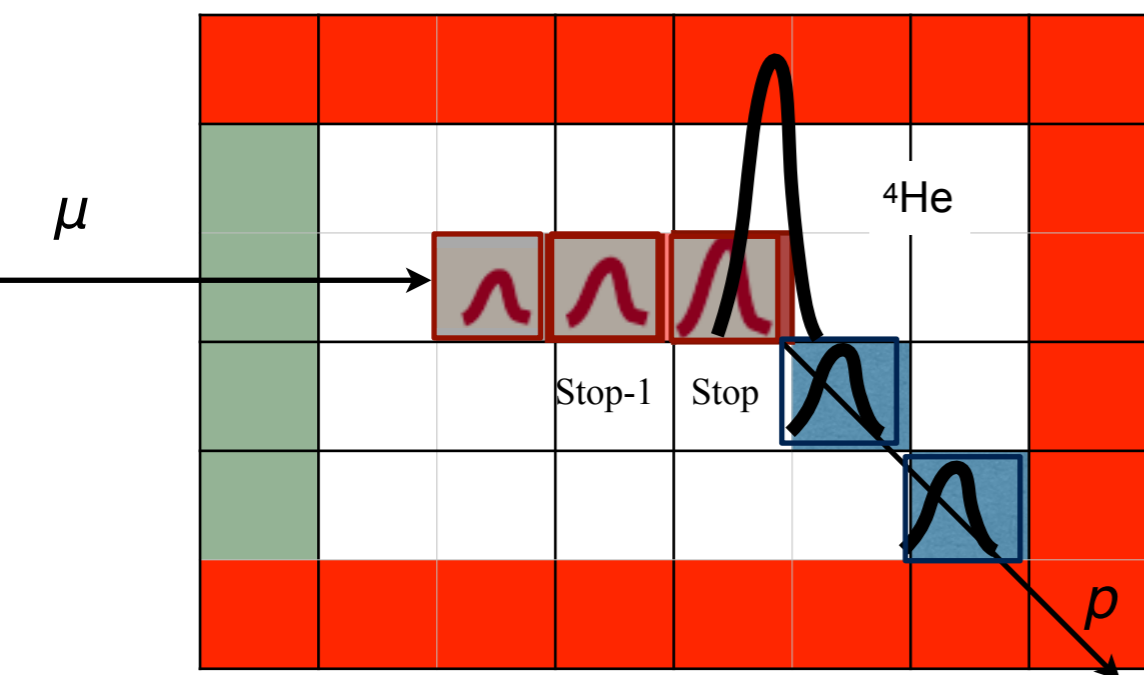
Экспериментальная часть проекта успешно завершена



Анализ данных. Остановка мюона в центре камеры

run	μ stop	Weeks	^3He	Ntot	NFinF
Run10(2022)	3.85E+09	3			
Run10(2021)	1.68E+09	3			
Run8	6.3E+09	9			

HD+ ^3He
D₂

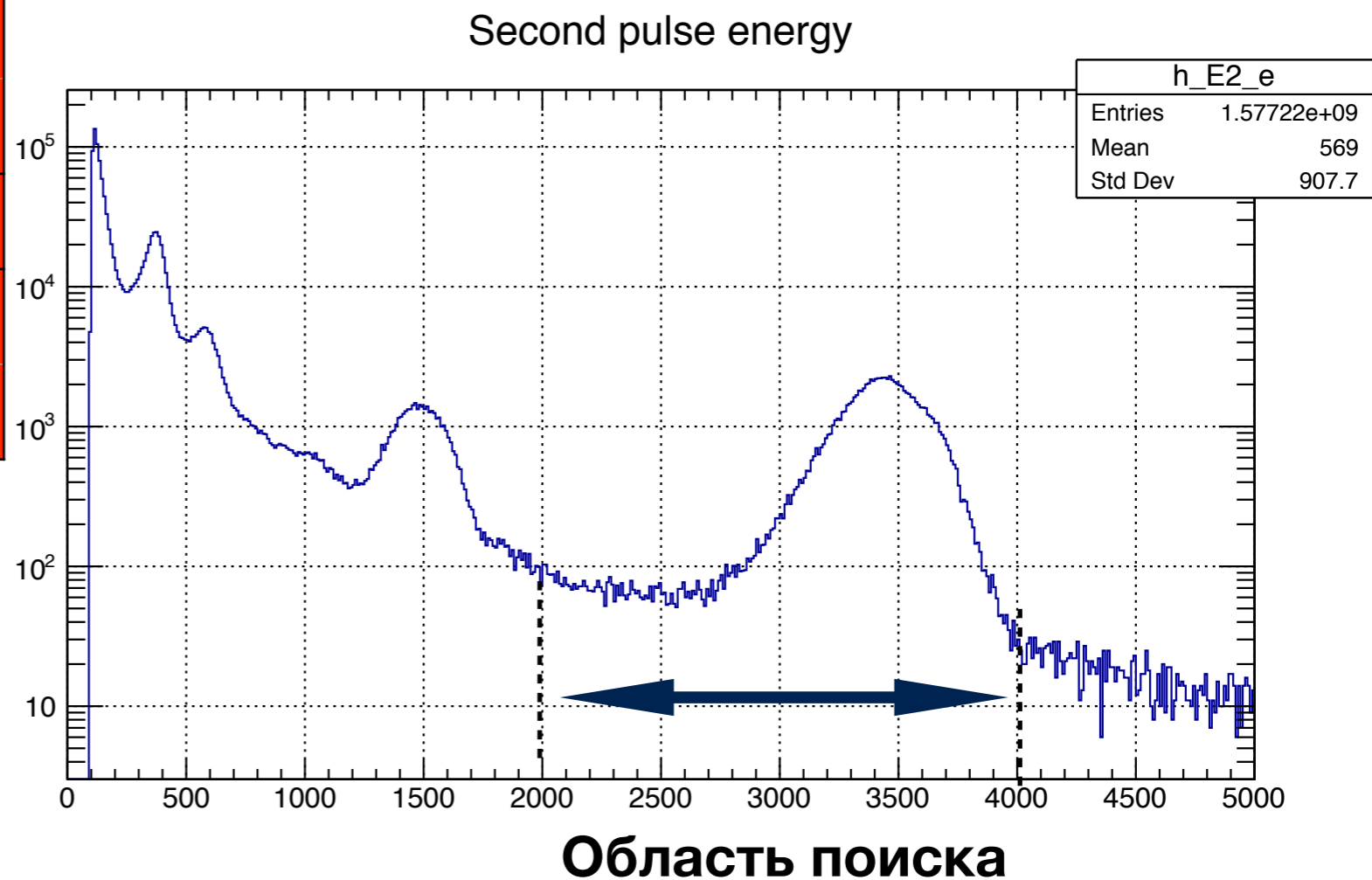
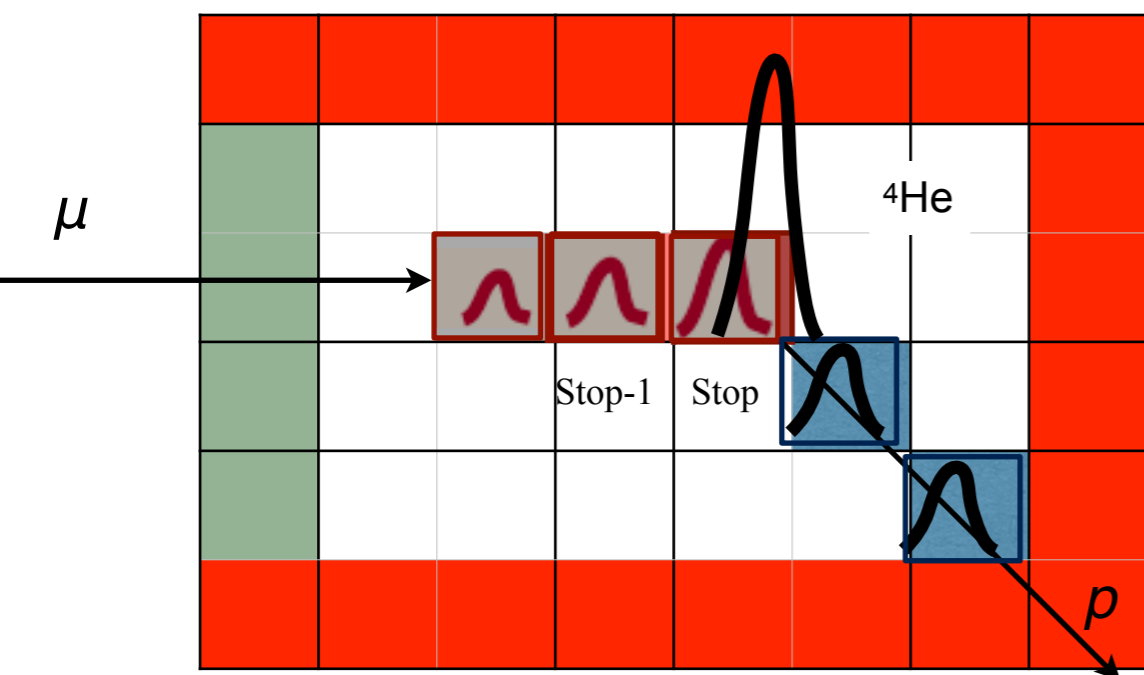




Анализ данных. Второй сигнал на паде остановки

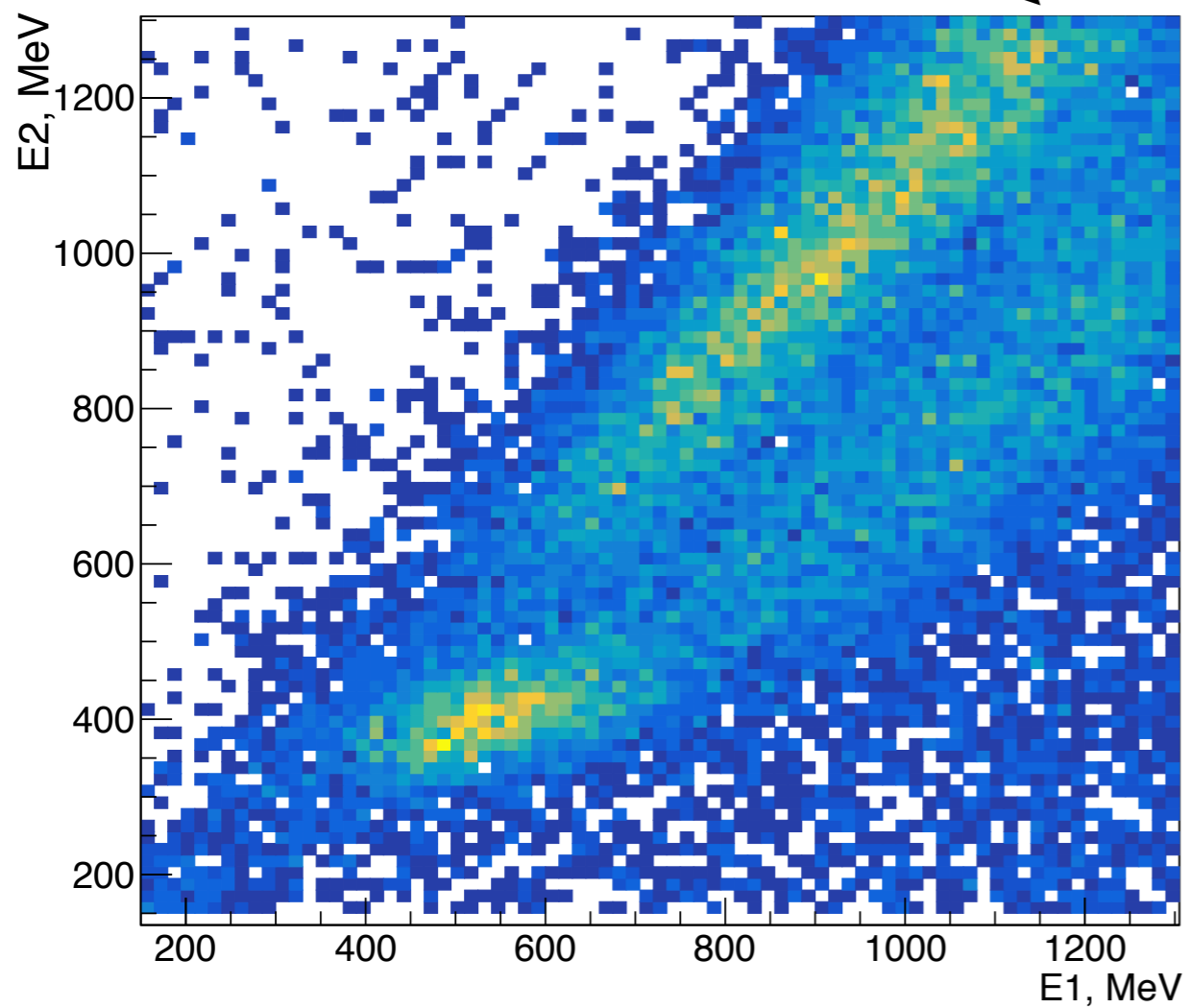
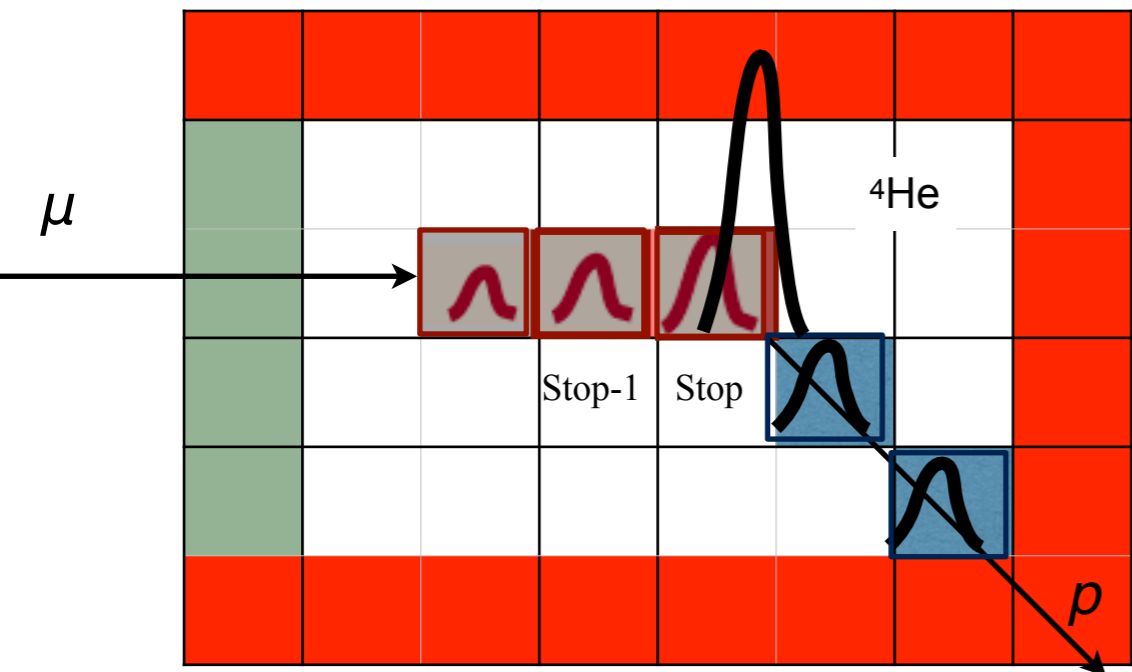
run	μ stop	Weeks	^3He	Ntot	NFinF
Run10(2022)	3.85E+09	3			
Run10(2021)	1.68E+09	3			
Run8	6.3E+09	9			

$\text{HD} + ^3\text{He}$
 D_2



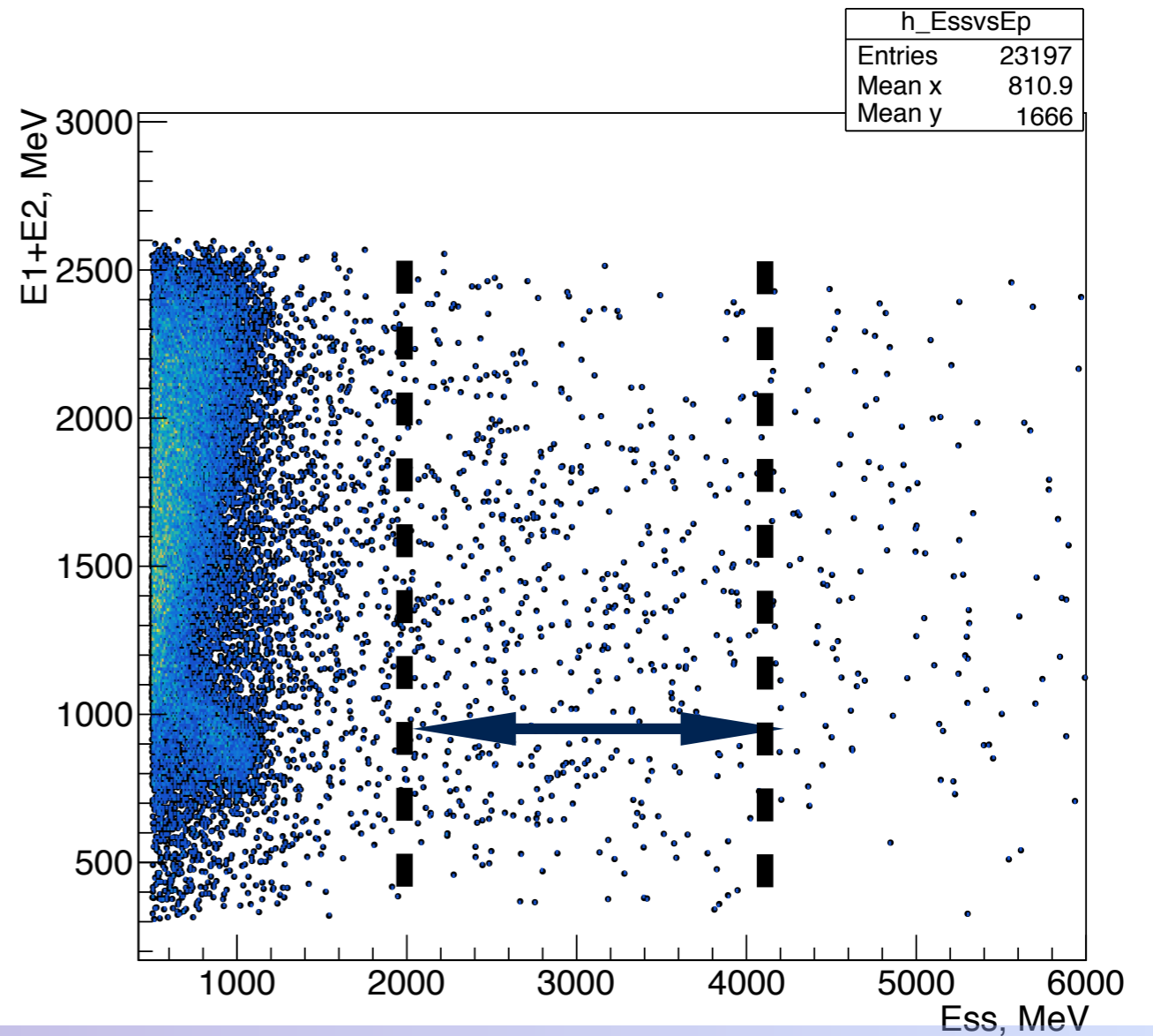
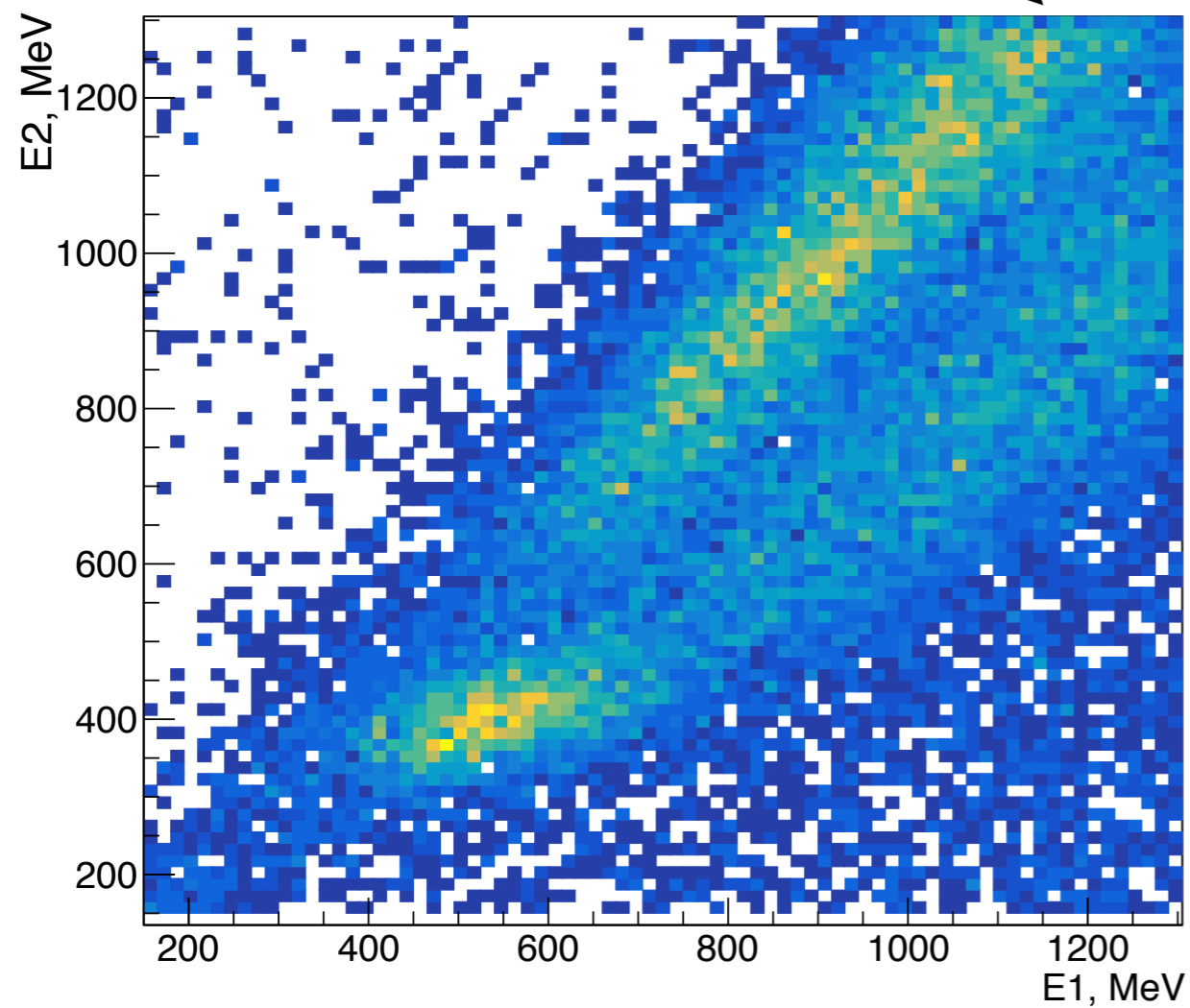
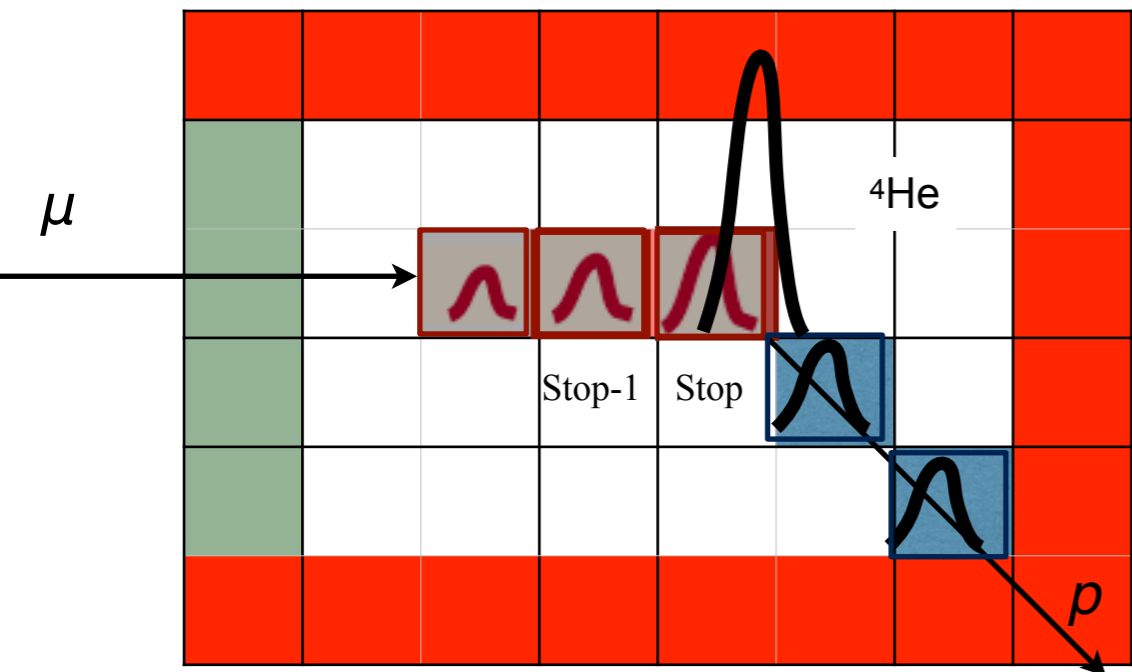


Протонный трек





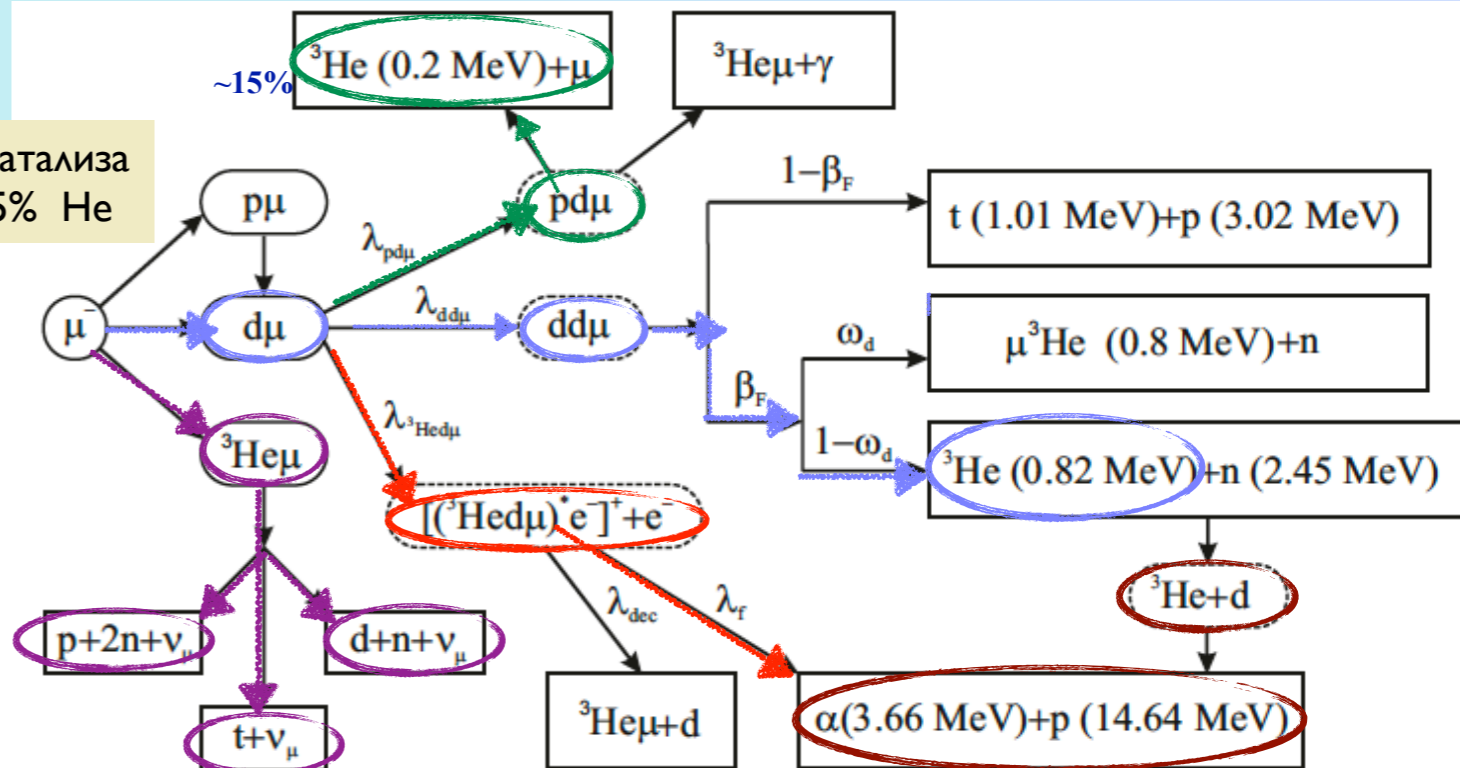
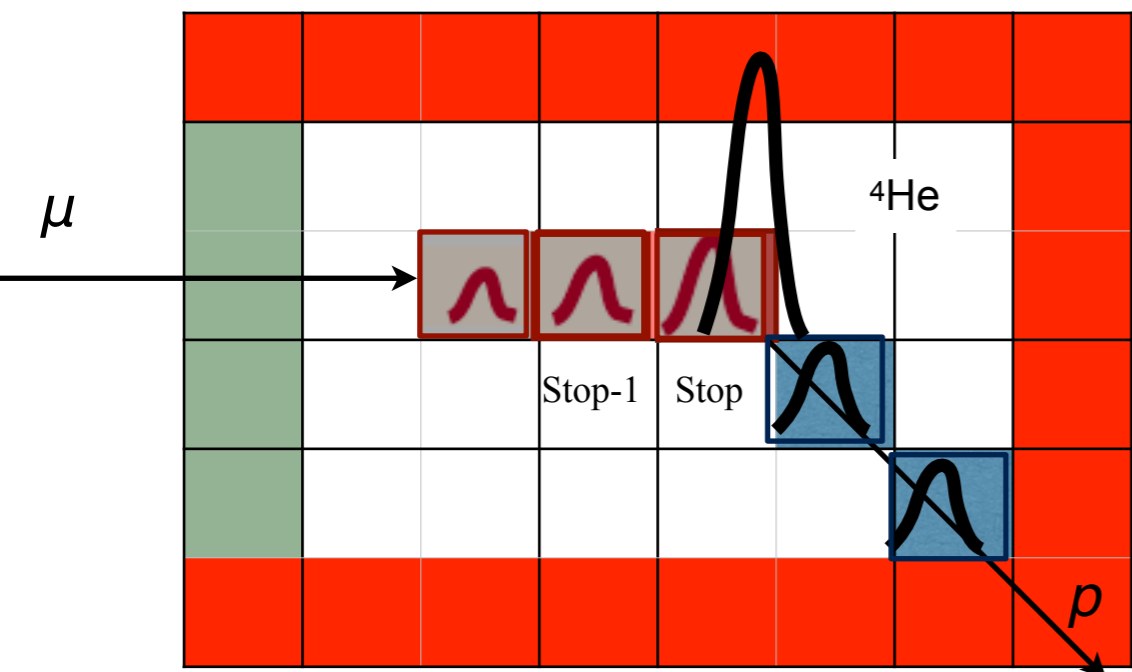
Протонный трек





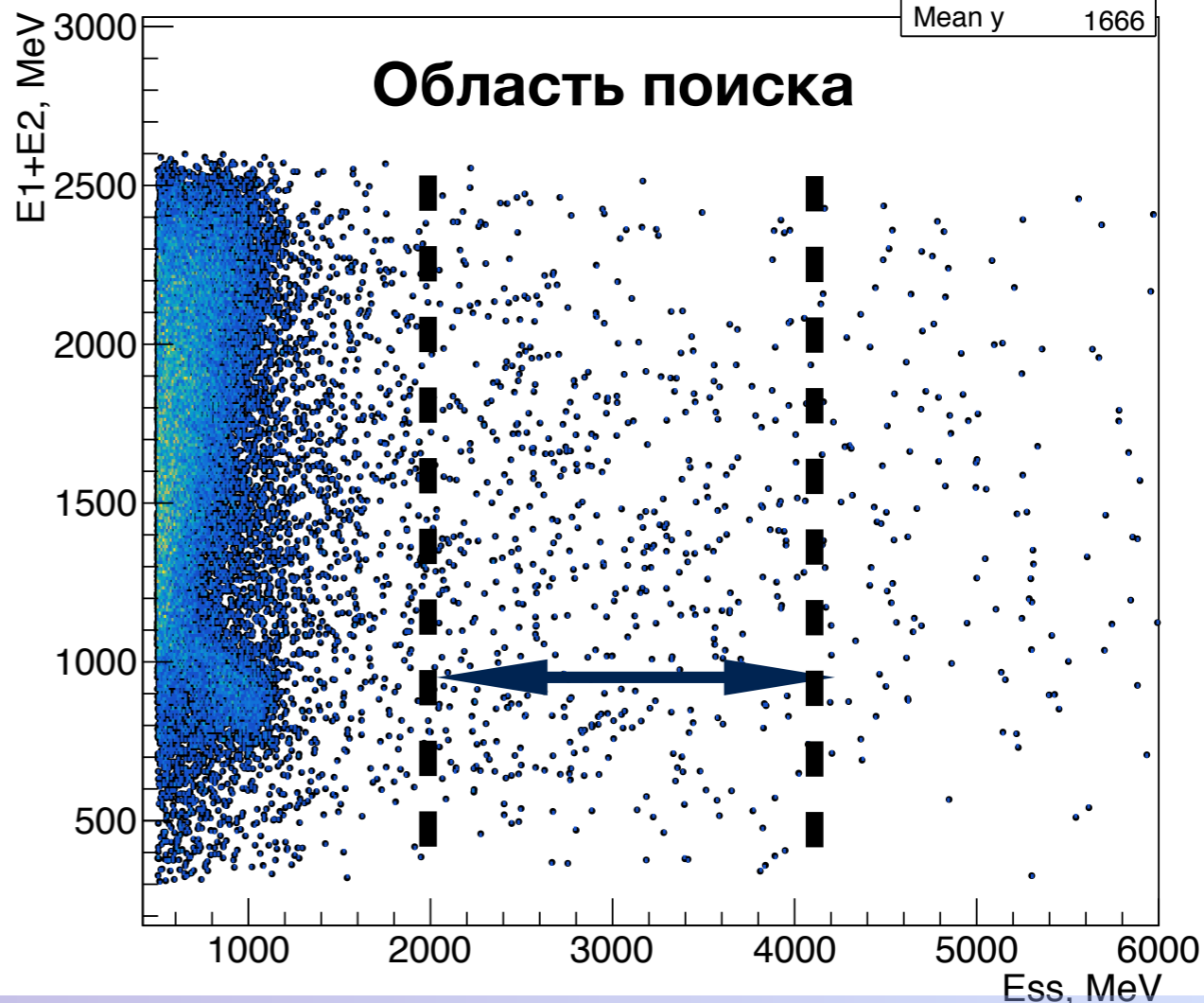
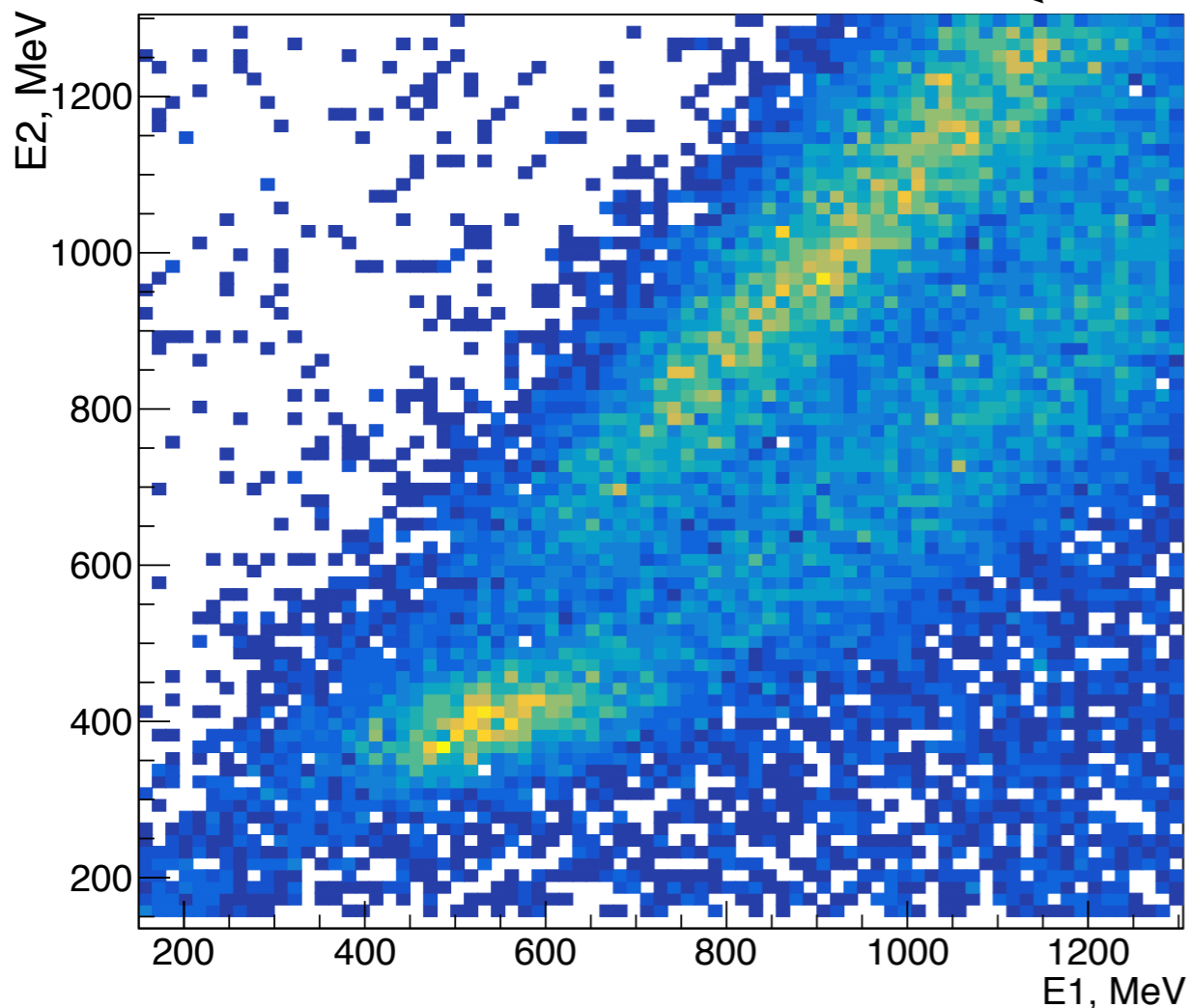
Каналы ложных событий

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



Essvs(Ep1+Ep2)

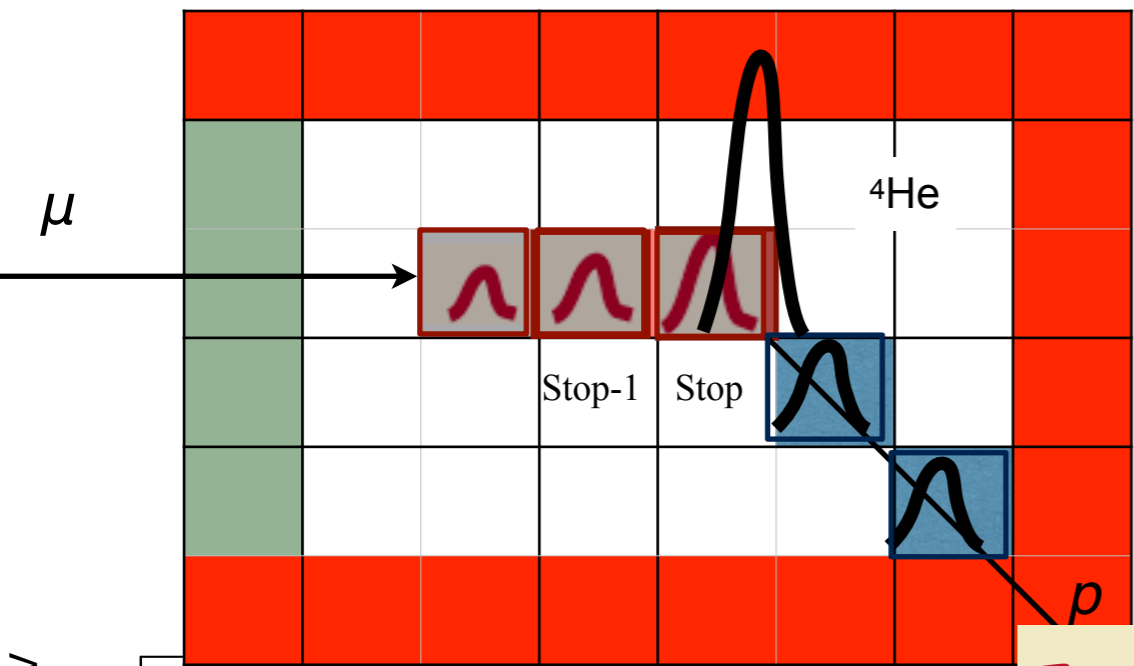
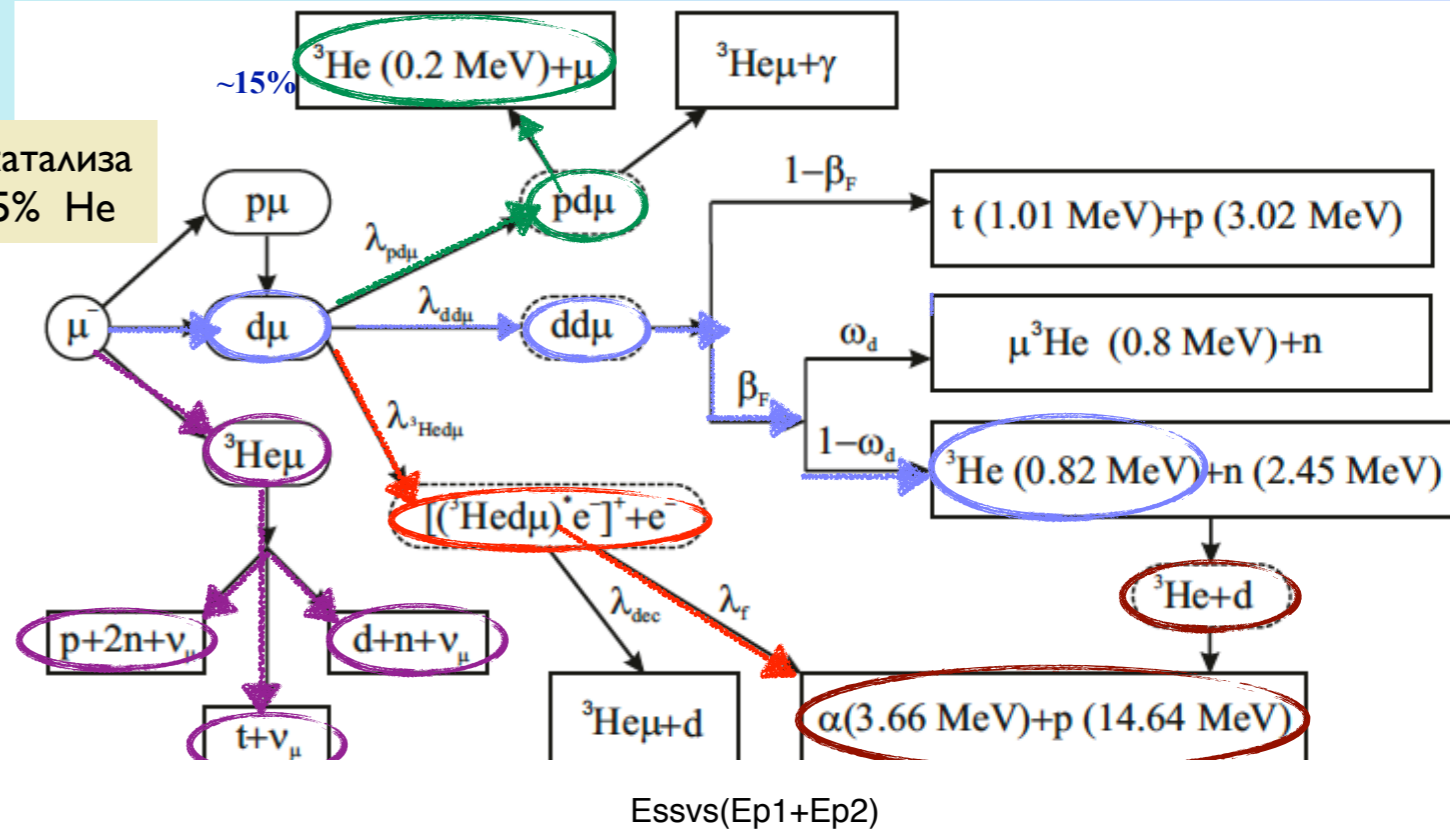
h_EssvsEp	
Entries	23197
Mean x	810.9
Mean y	1666



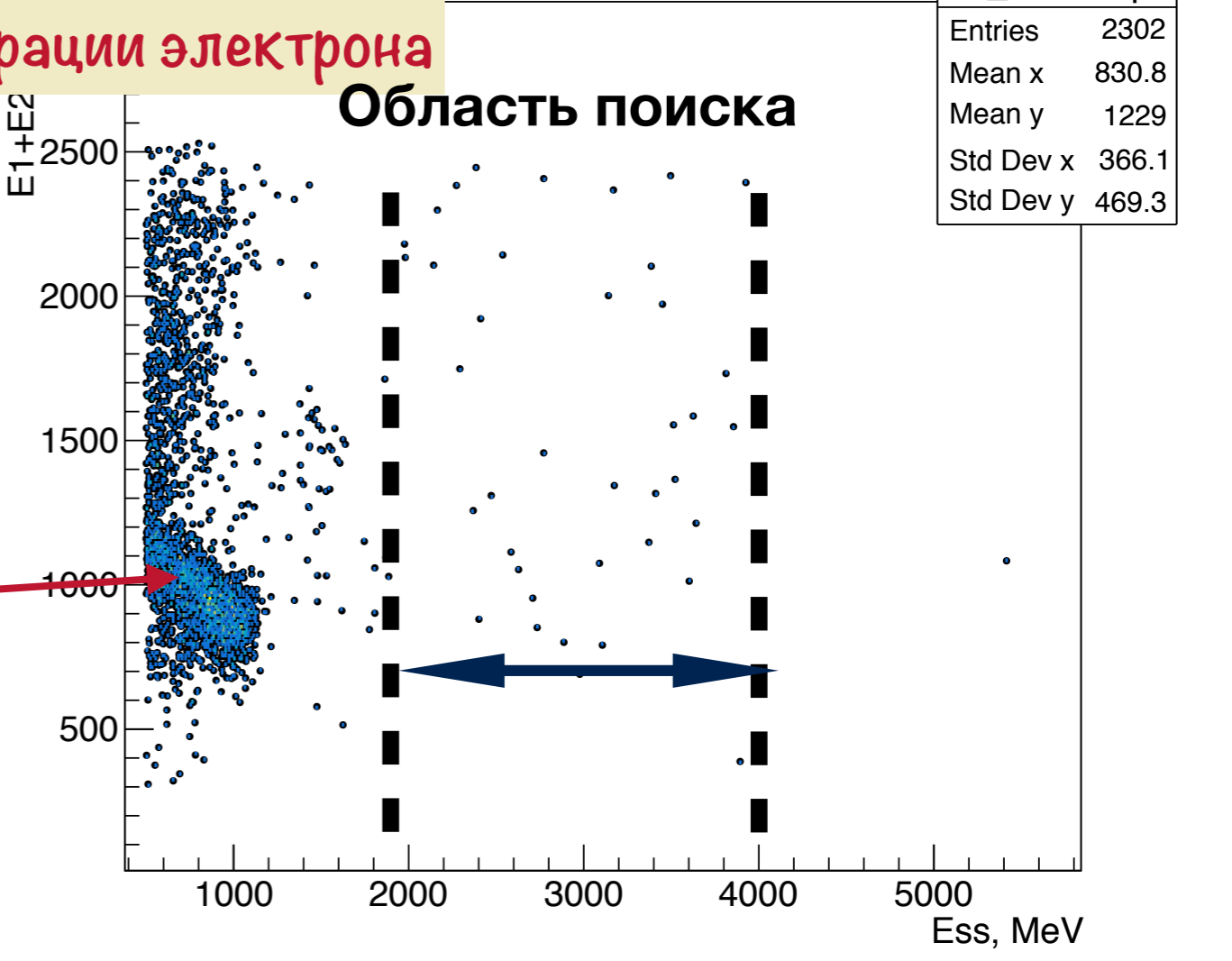
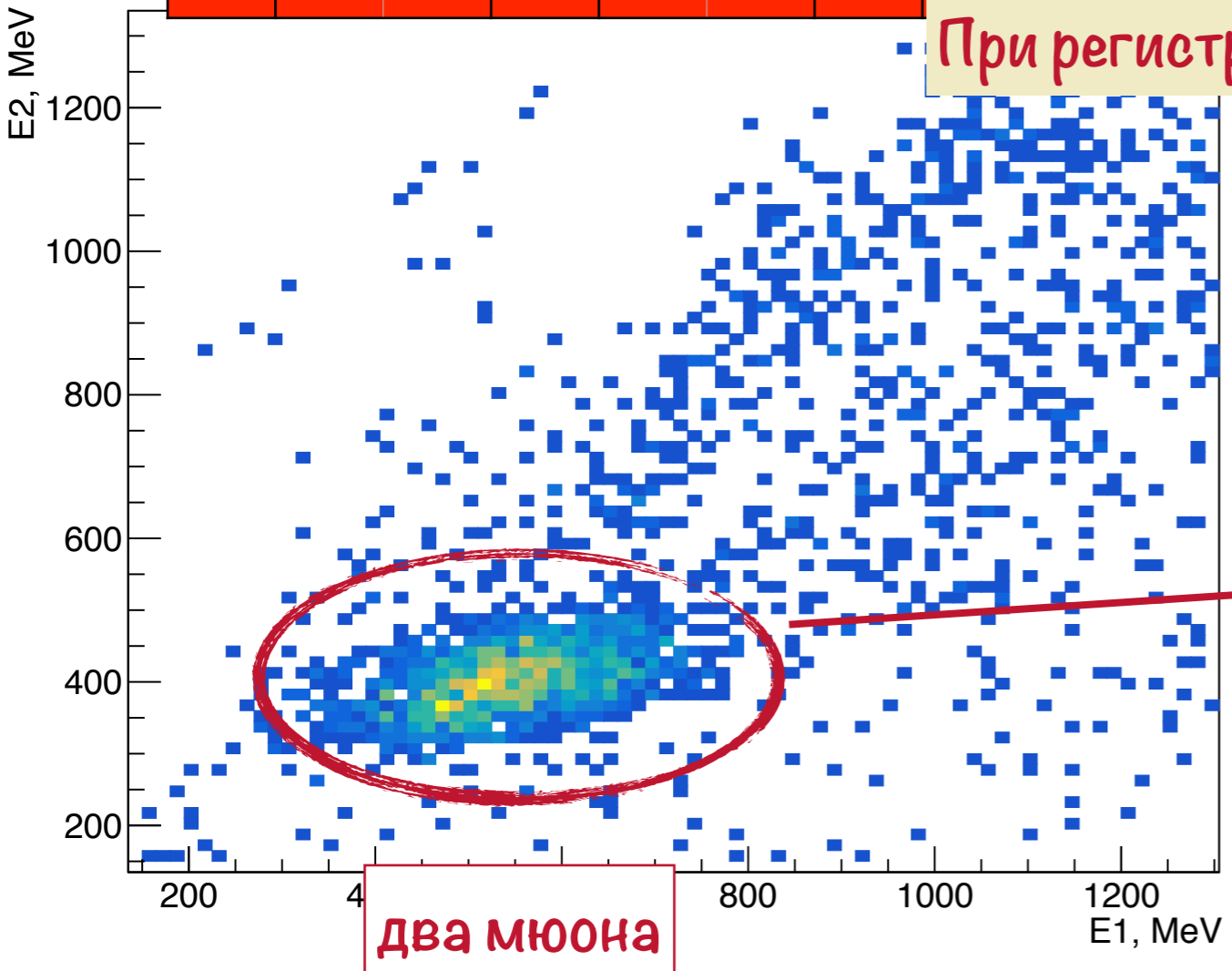


Отбор полезных событий

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



При регистрации электрона

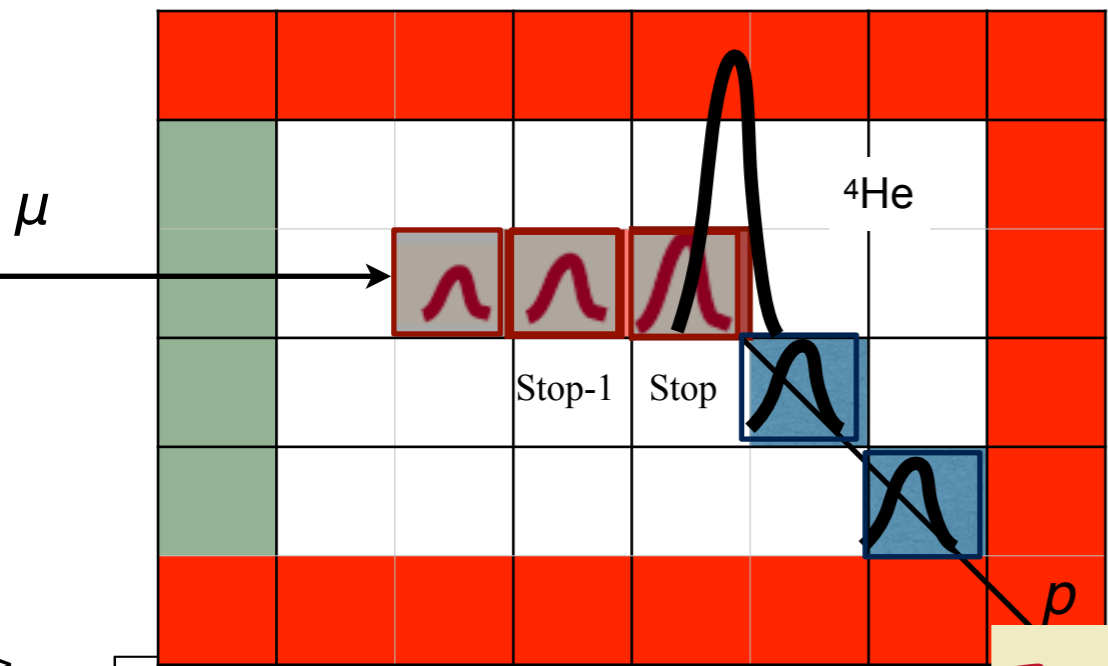
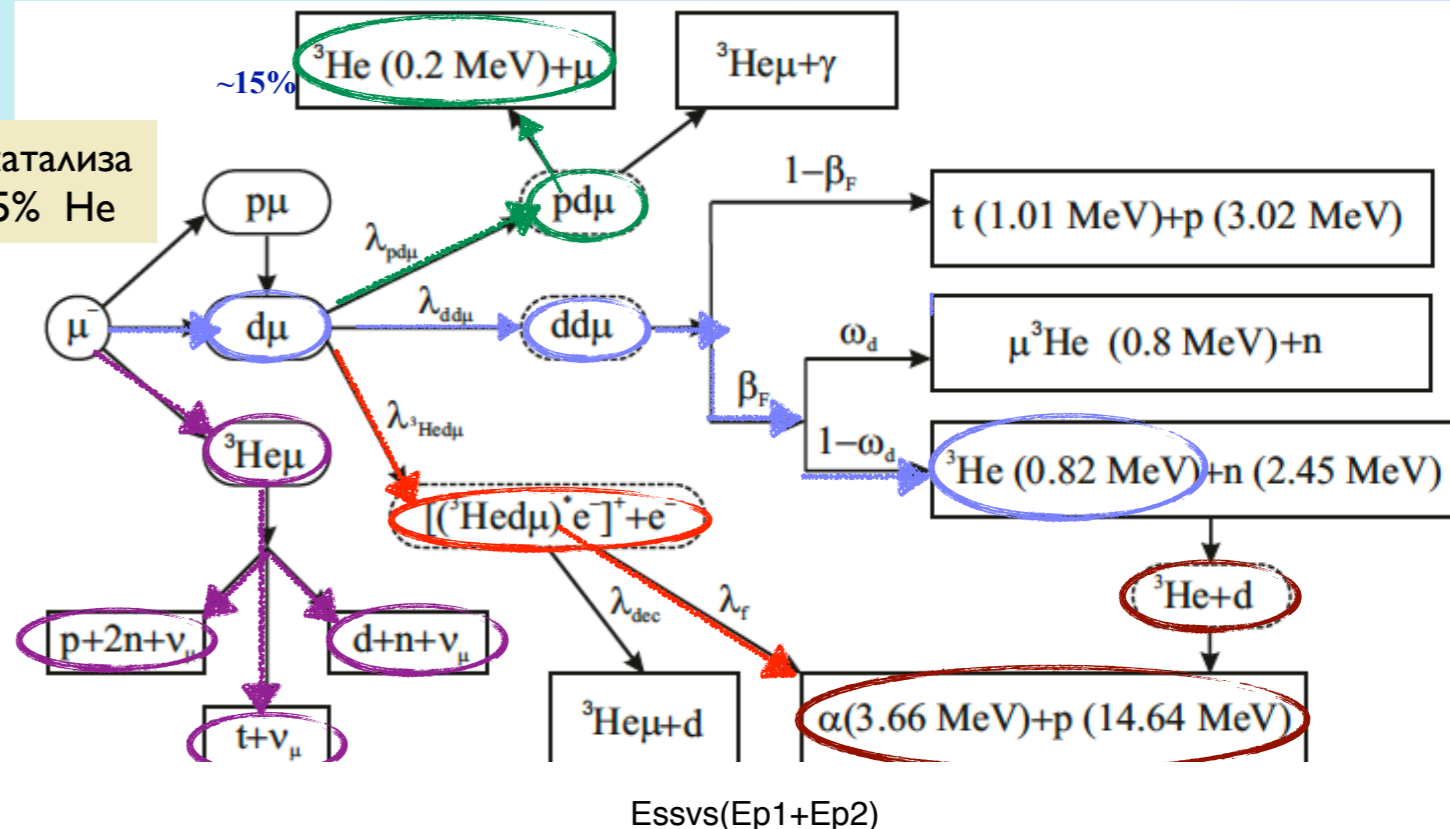


h_EssvsEp	
Entries	2302
Mean x	830.8
Mean y	1229
Std Dev x	366.1
Std Dev y	469.3

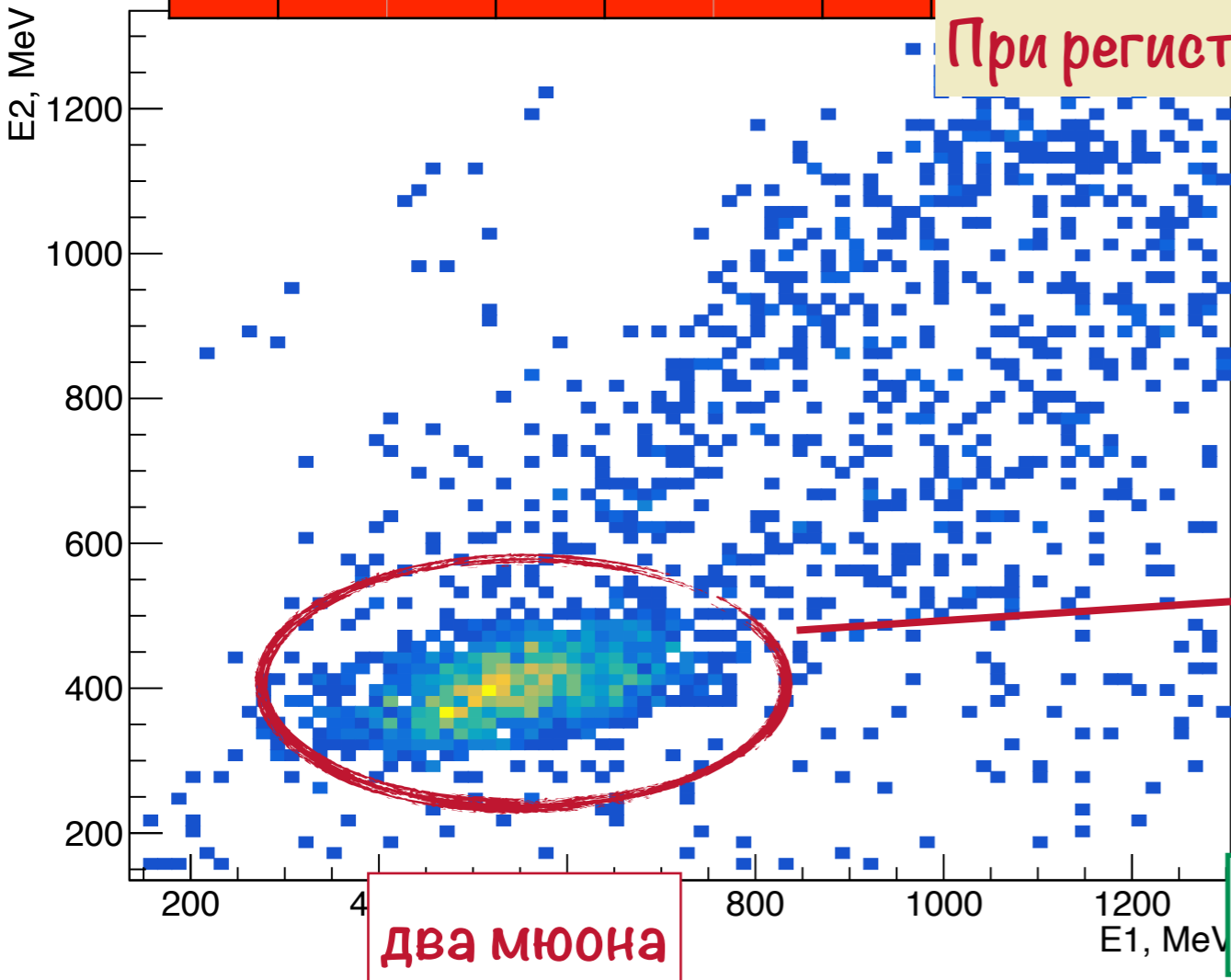


Отбор полезных событий

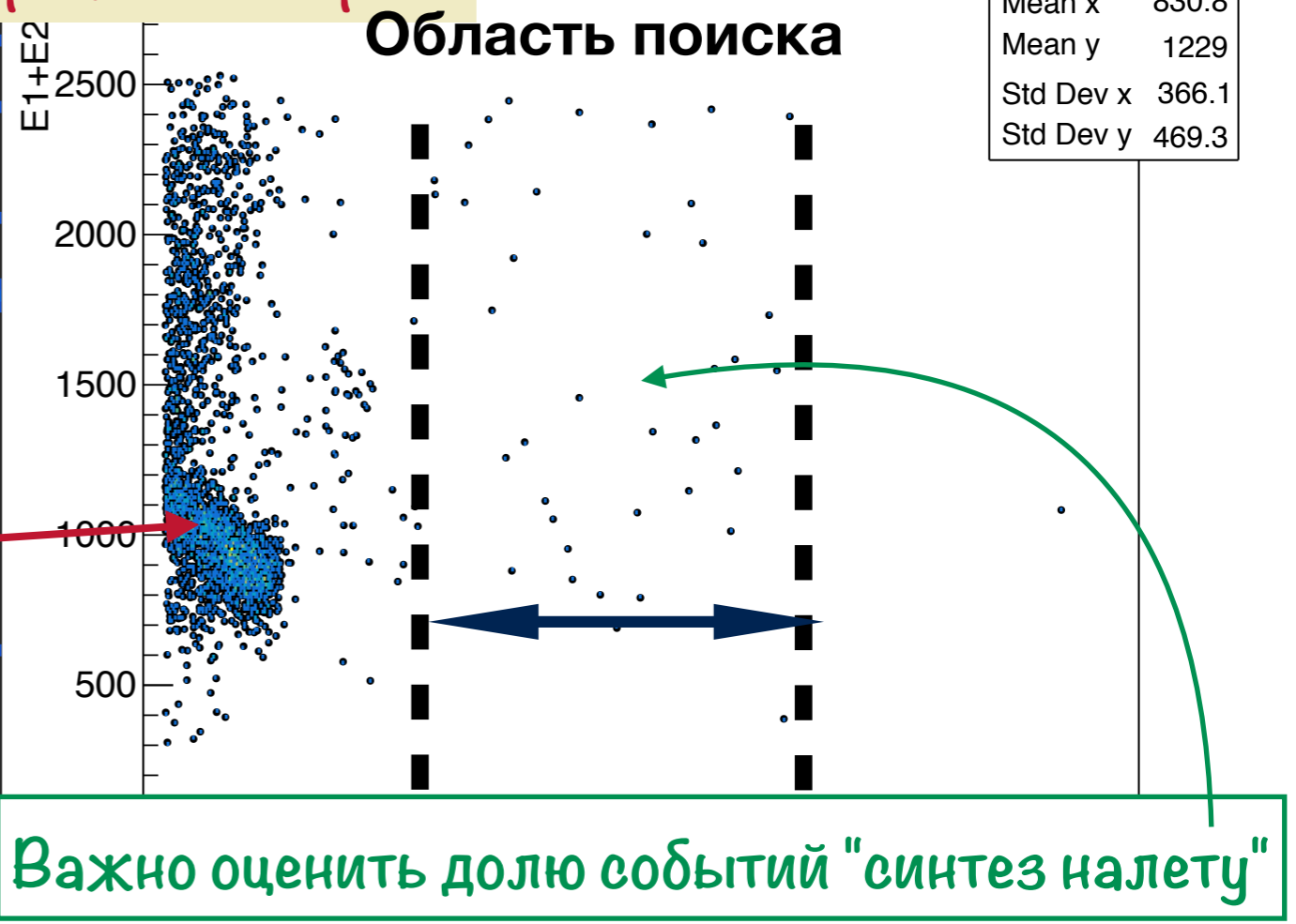
Схема реакции мюонного катализа ядерного синтеза в HD + 5% He



При регистрации электрона



два мюона



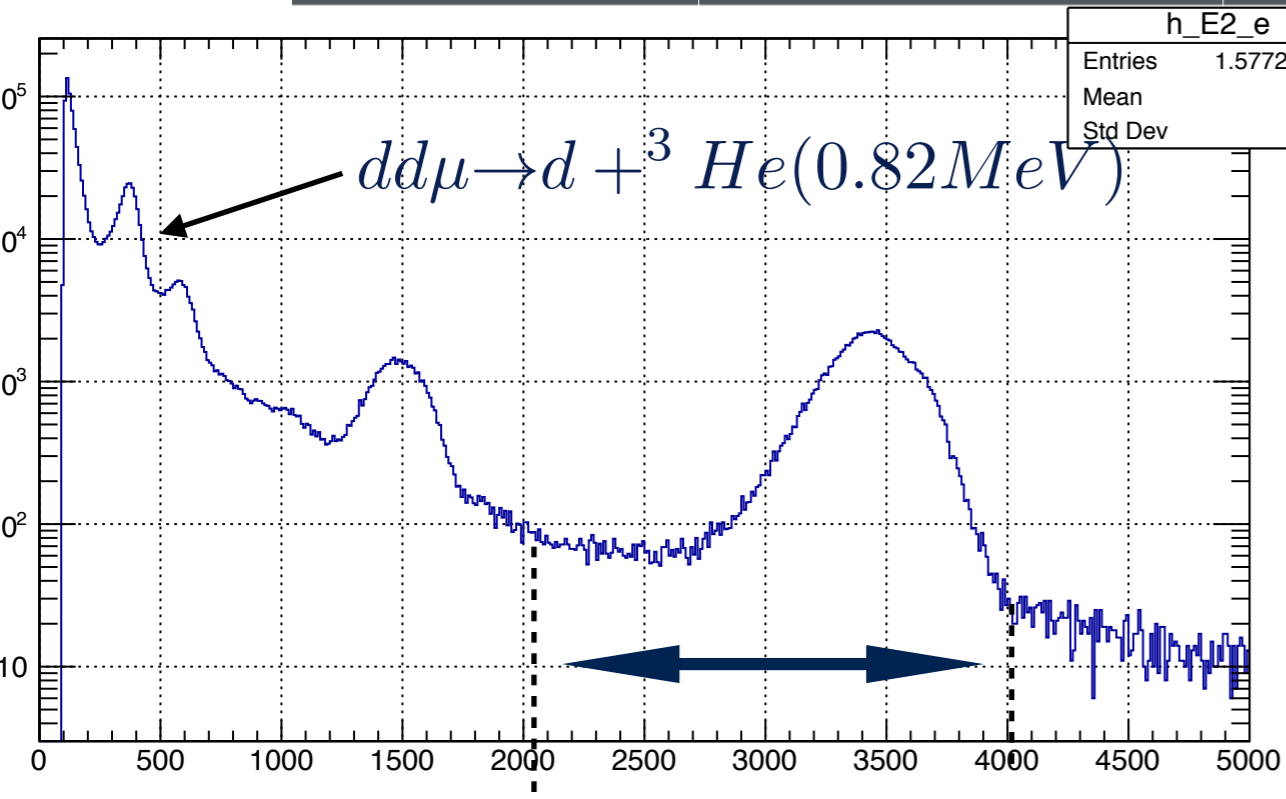
Важно оценить долю событий "синтез налету"



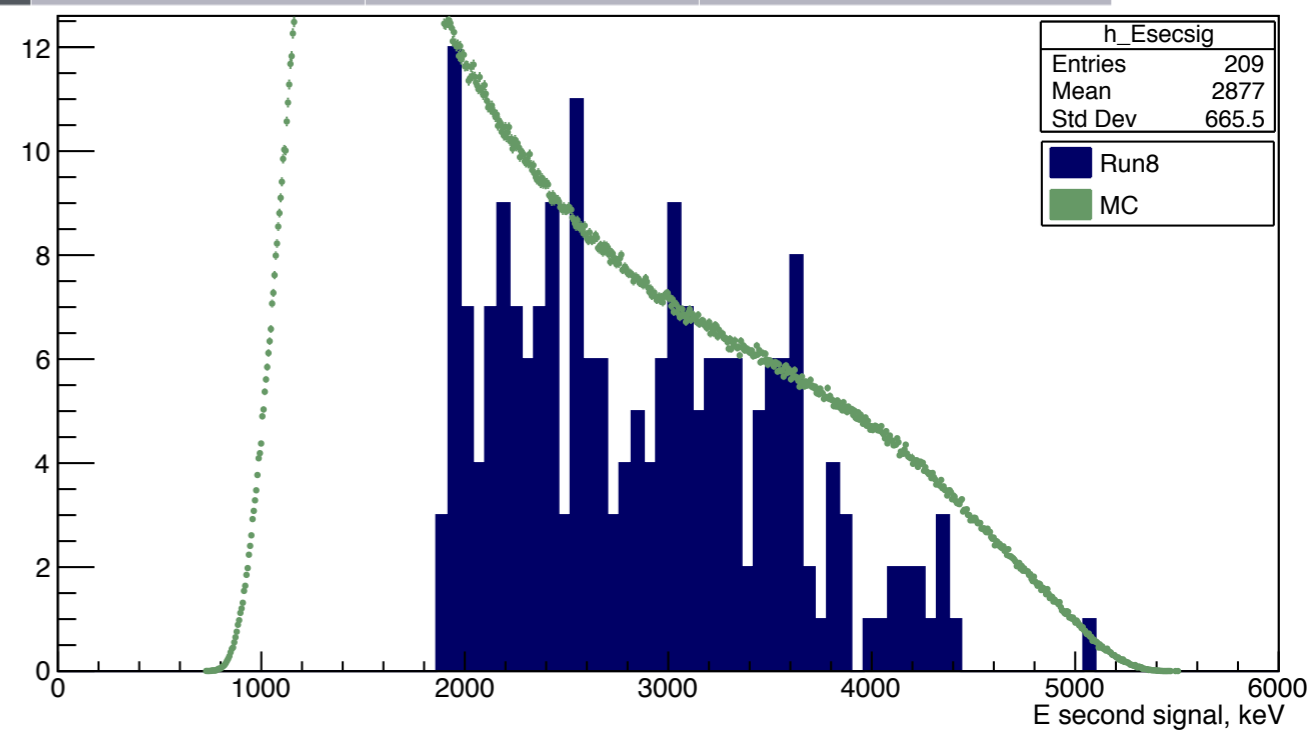
Вклад синтеза налета

run	μ stop	Weeks	^3He	Ntot	NFinF
Run10(2022)	3.85E+09	3	4.00E+05	31	4
Run10(2021)	1.68E+09	3	1.75E+05	10	1
Run8	6.3E+09	9	1.28E+07		-200

$\text{HD} + ^3\text{He}$ {
 D_2



Область поиска

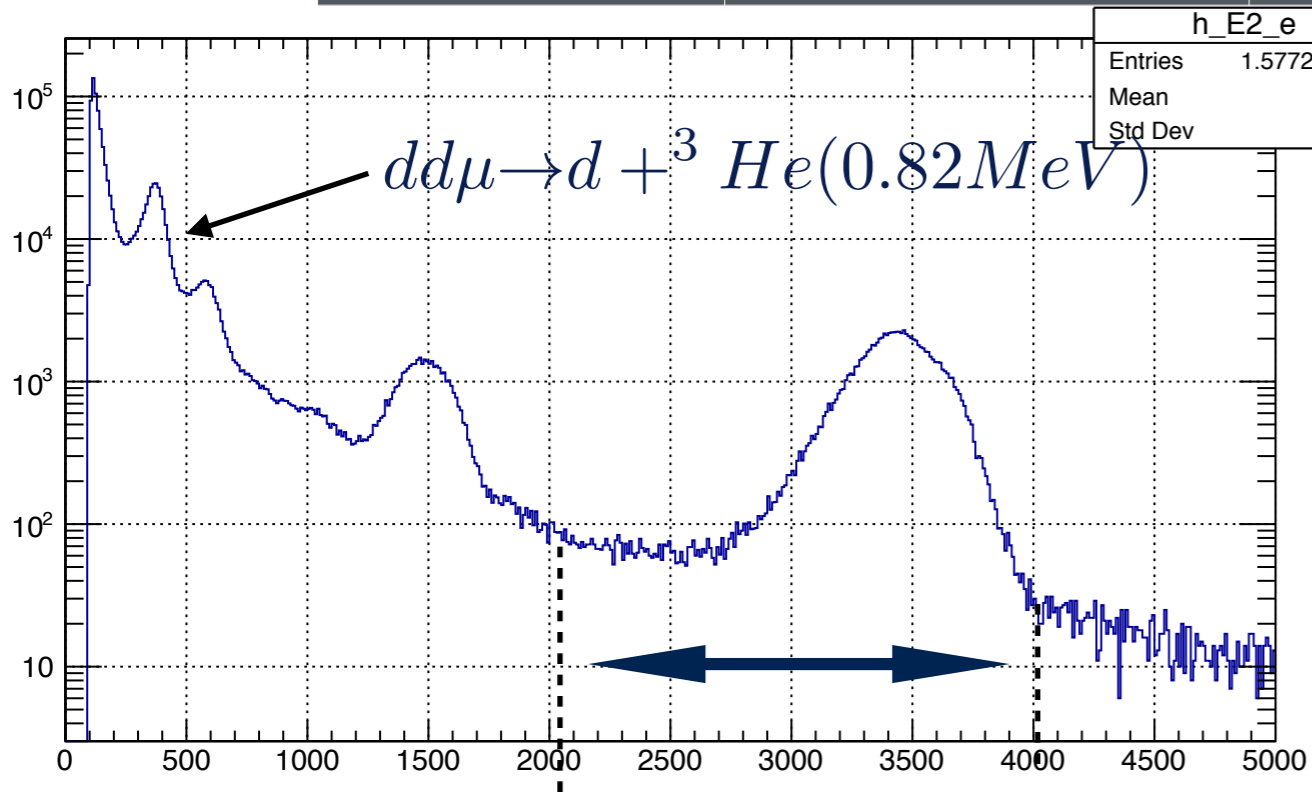




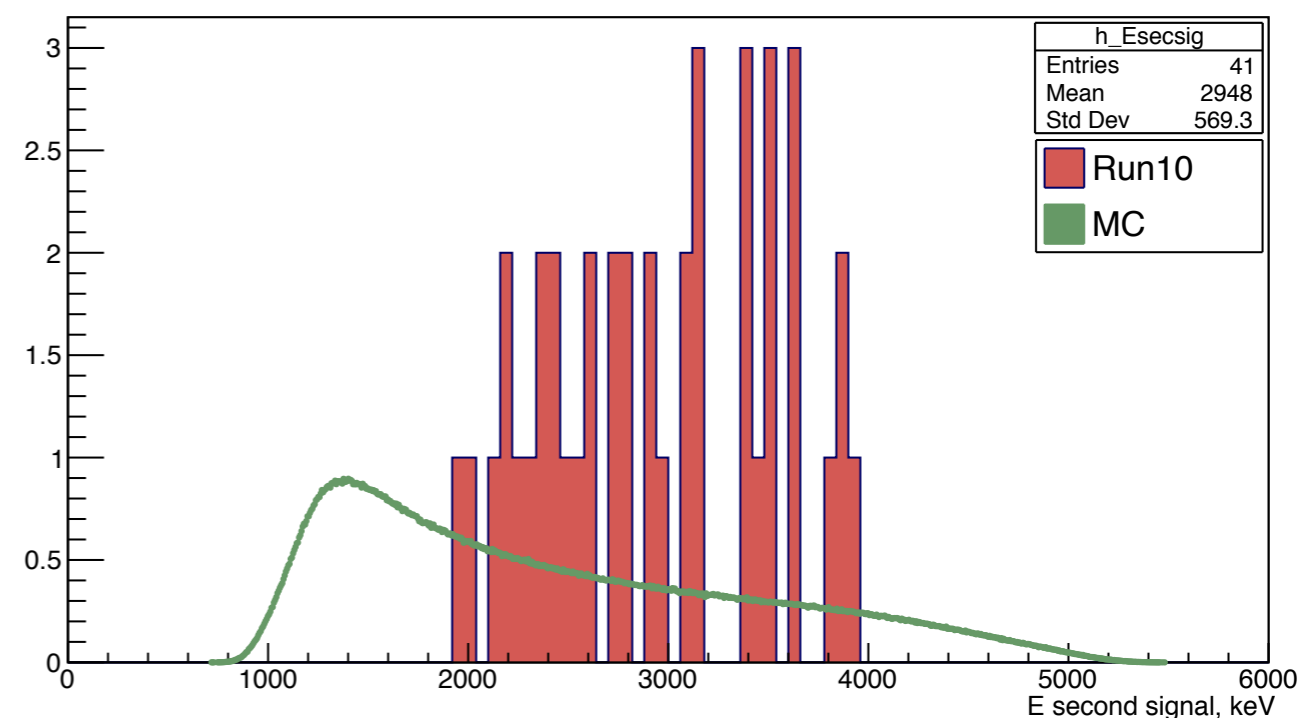
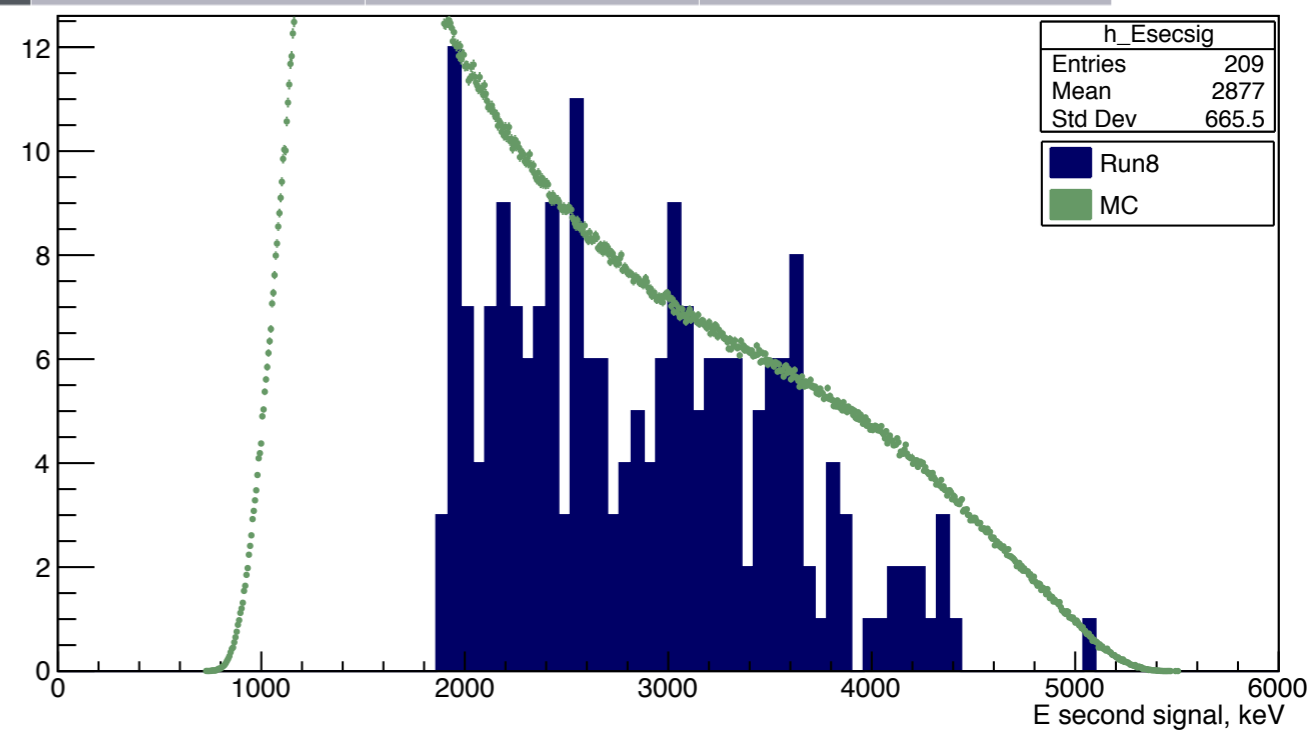
Вклад синтеза налета

run	μ stop	Weeks	^3He	Ntot	NFinF
Run10(2022)	3.85E+09	3	4.00E+05	31	4
Run10(2021)	1.68E+09	3	1.75E+05	10	1
Run8	6.3E+09	9	1.28E+07		-200

$\text{HD} + ^3\text{He}$ {
D₂

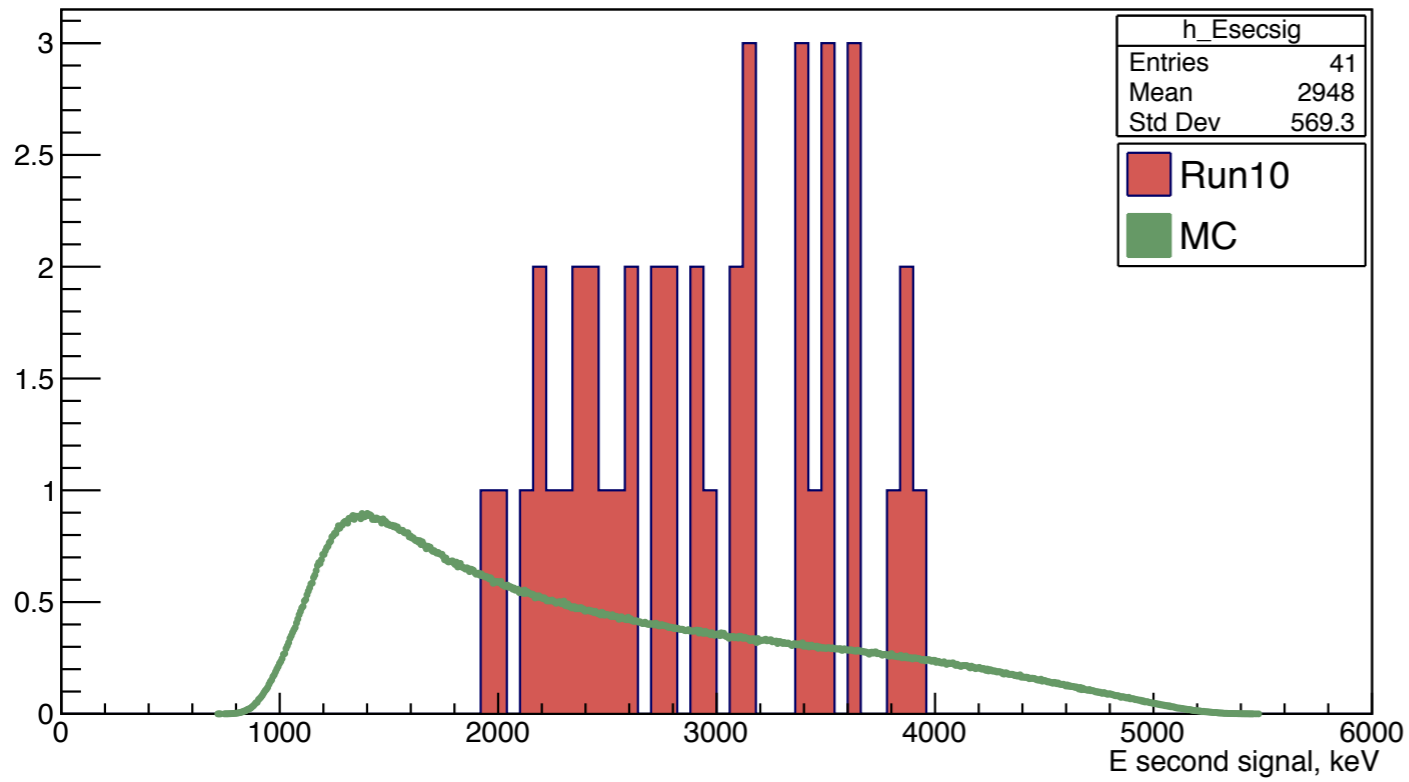


Область поиска



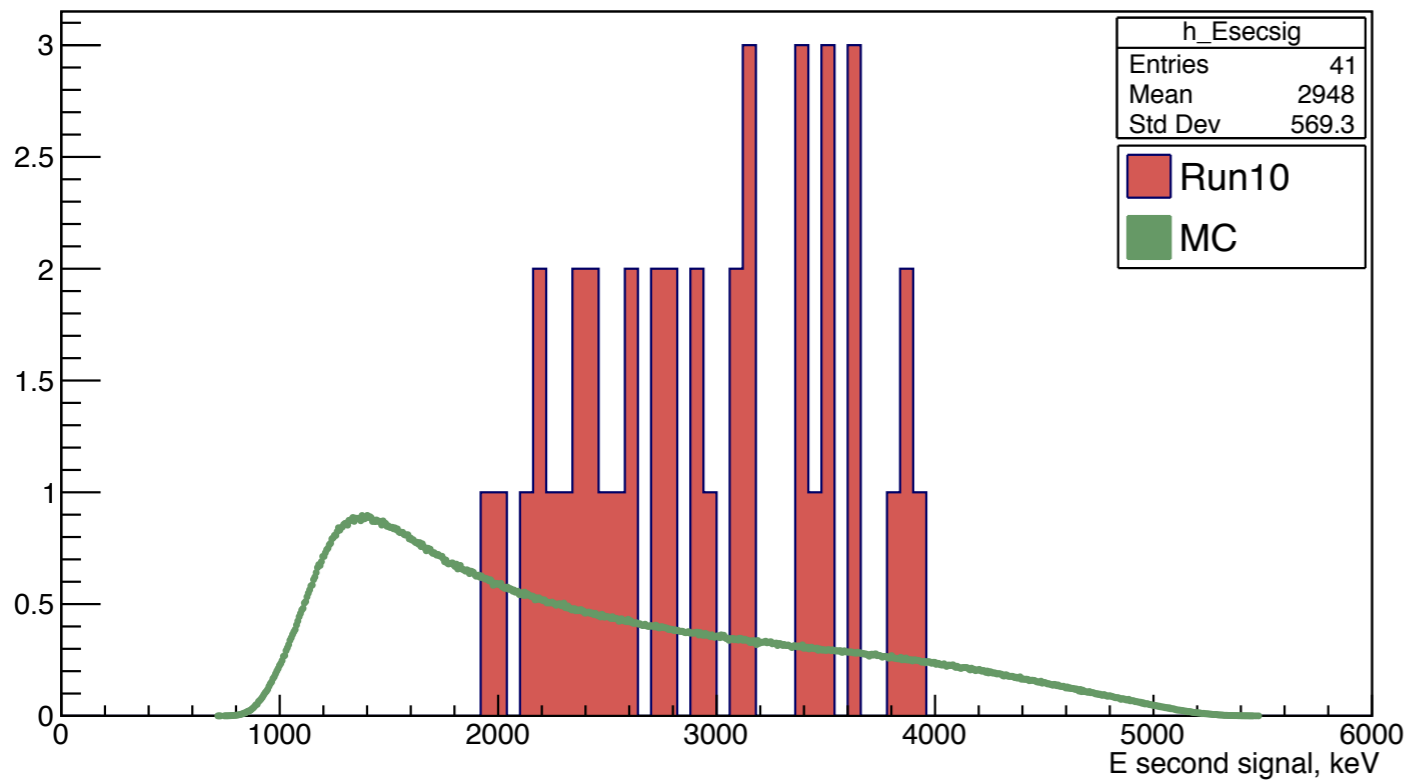


События-кандидаты

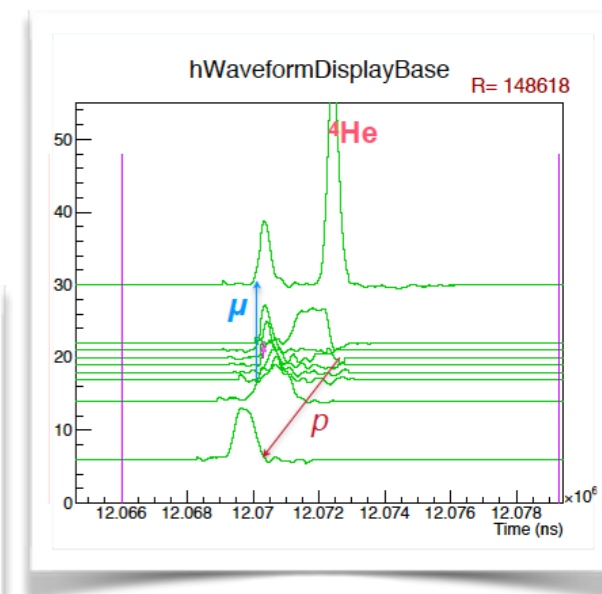
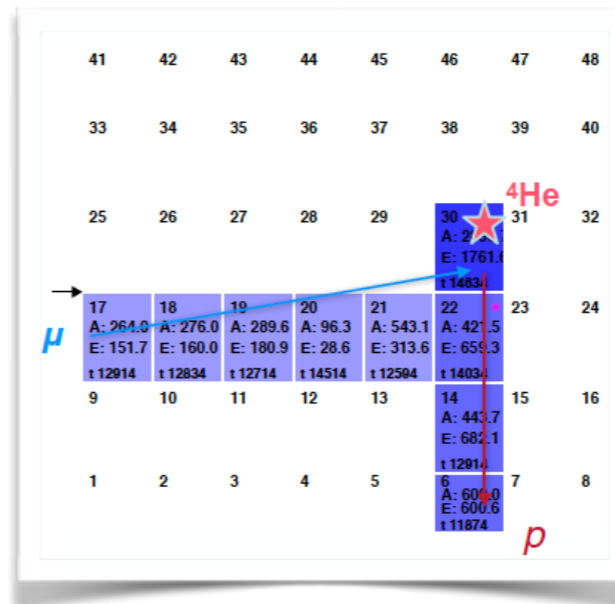




События-кандидаты

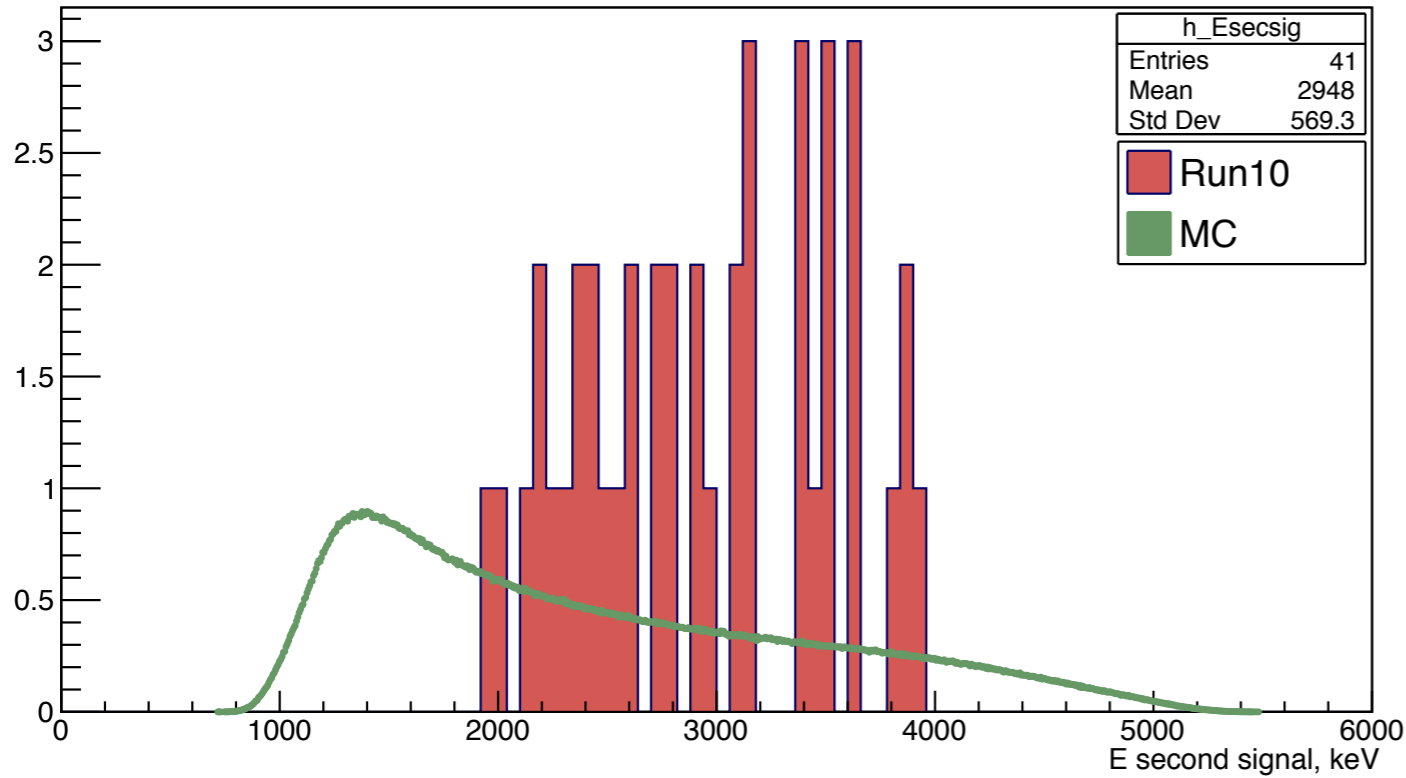


1. Cross check

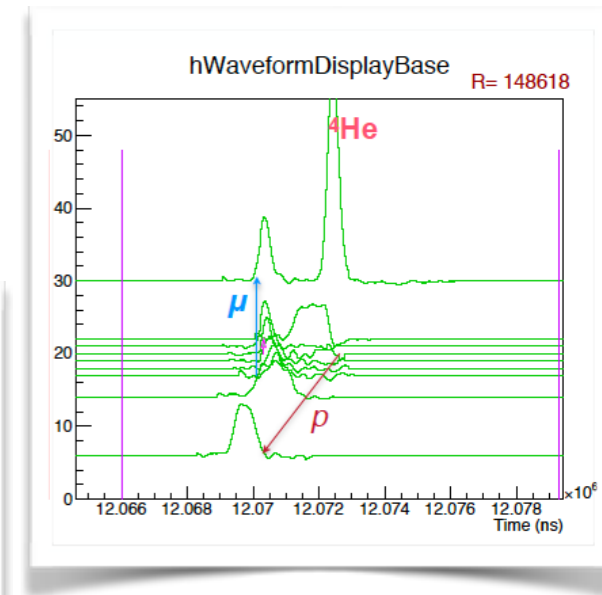
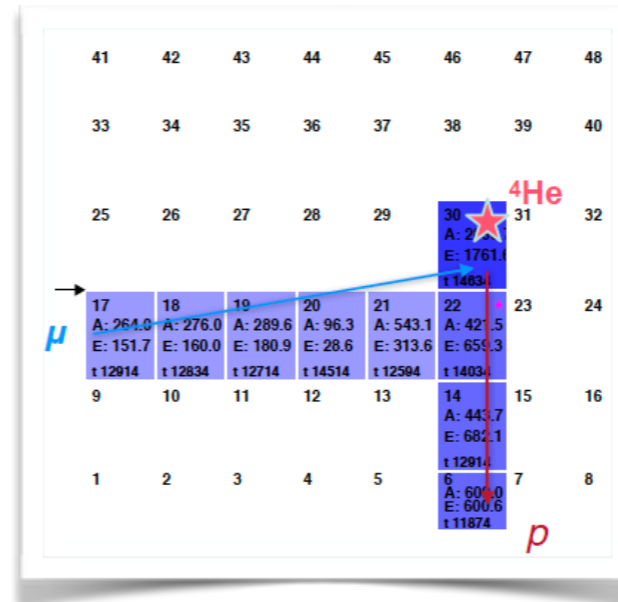




События-кандидаты



1. Cross check



2. Оценка событий "синтез налету"

3. Учет неэффективности регистрации электронов
вклад событий с прямой посадкой мюона на ^3He

4. Вычисление скорости реакции



2024 год - результат и статья !!



Спасибо за внимание!!



Экстраполяция астрофизического $S(E)$ фактора в область свехнизкой энергии

