

LXX International conference «NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies»

*Saint Petersburg , Russia, October 13, 2020*

## **EXTRACTION OF SINGLET $pp$ -VIRTUAL STATE ENERGY IN $d+{}^1\text{H}\rightarrow p+p+n$ REACTION**

**Konobeevski E.S.<sup>1, 3</sup>, Afonin A.A.<sup>1</sup>, Kasparov A.A.<sup>1</sup>,  
Lebedev V.M.<sup>2</sup>, Mitsuk V.V.<sup>1, 3</sup>, Mordovskoy M.V.<sup>1, 3</sup>,  
Spassky A.V.<sup>2</sup>, Zuyev S.V.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;*

*<sup>2</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia;*

*<sup>3</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia*

*E-mail: [vyacheslav.mitsuk@phystech.edu](mailto:vyacheslav.mitsuk@phystech.edu)*

# Измерение $a_{pp}$ и $E_{pp}$ в различных реакциях

- Одним из проявлений эффекта НЗС (CSB) является разница между длинами рассеяния  $a_{pp}$  и  $a_{nn}$ . Длина рассеяния  $a_{pp}$  измеряется в реакции  $pp$ -рассеяния. Длина рассеяния  $a_{nn}$  измеряется в реакциях  $d+{}^2\text{H} \rightarrow (pp) + (nn)$  и  $n+d \rightarrow (nn) + p$  с 3 и 4 частицами в КС.
- На величину длины рассеяния, извлеченной в реакциях с тремя и более частицами в КС, может влиять взаимодействие  $NN$ -пары с другими частицами.
- Длина рассеяния  $a_{pp}$  также может быть измерена в реакциях  $d+{}^2\text{H} \rightarrow (pp) + nn$  и  $d+{}^1\text{H} \rightarrow (pp) + nn$  и результат может отличаться от полученного в  $pp$ -рассеянии.

Цель работы – исследование влияния  $3N$ -сил на извлекаемую величину энергии виртуального  $pp$ -состояния ( $E_{pp}$ ), связанной с величиной длины  $pp$ -рассеяния.

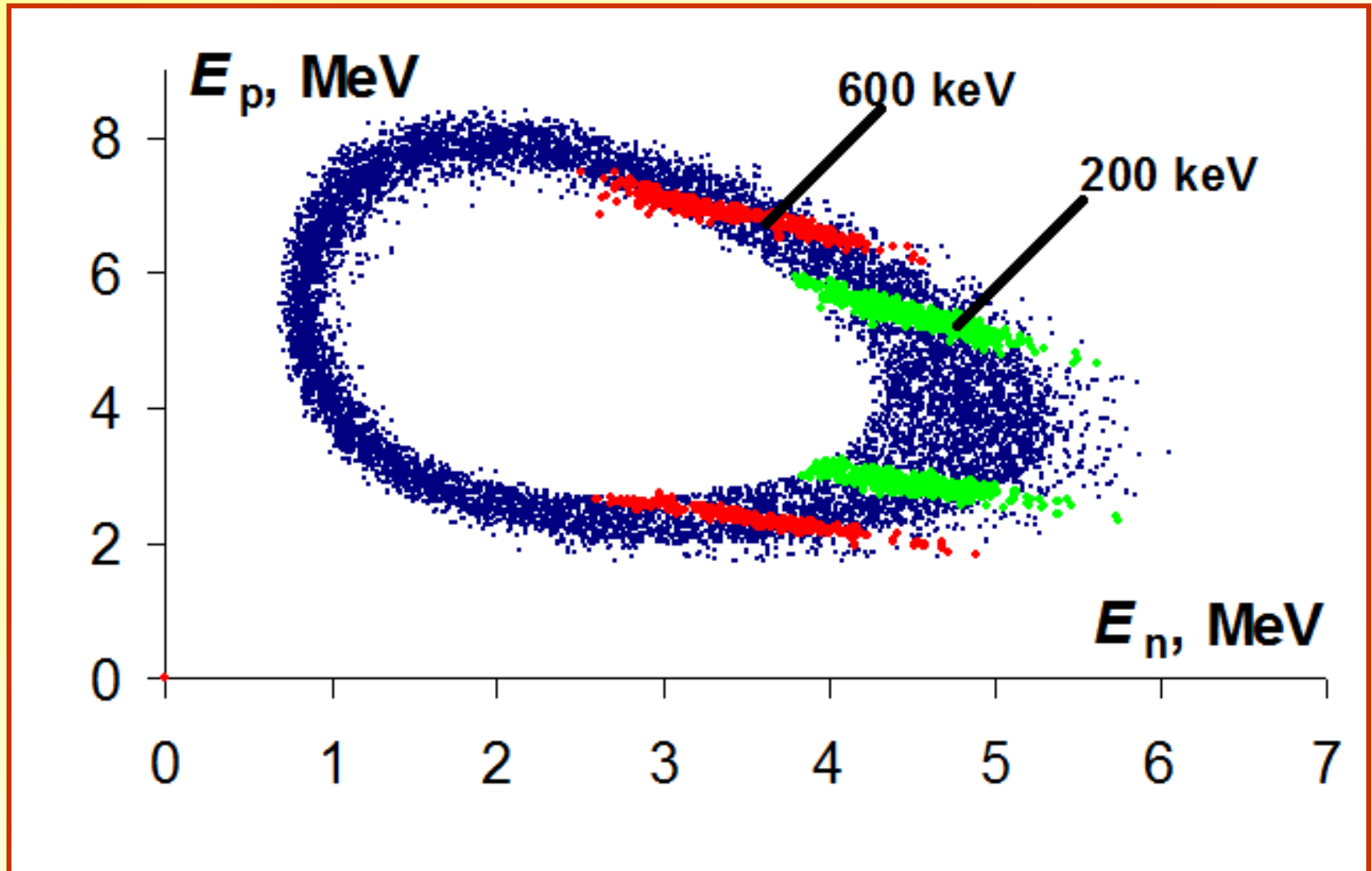
# Кинематическое моделирование реакции

## $d + {}^1\text{H} \rightarrow (pp) + n$ : первый этап

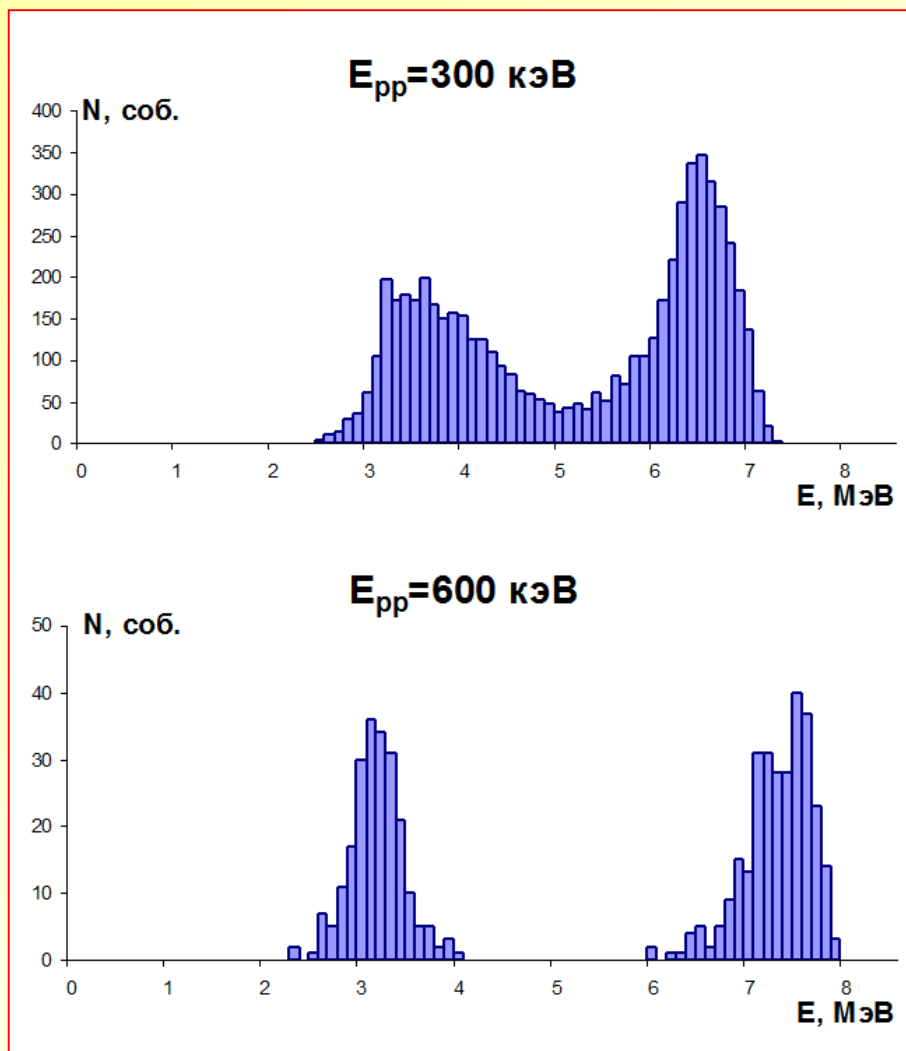
---

- На первом этапе моделируется двухчастичная реакция  $d + {}^1\text{H} \rightarrow (pp) + n$  при энергии пучка дейтронов 15 МэВ.
- Затравочная масса двухпротонной системы имеет вид  $m_{2p} = 2m_p + E_{pp}$ .
- Искомое значение энергии виртуального уровня при моделировании брали в широком интервале  $E_{pp} = 0.2 - 0.6$  МэВ.
- Были определены оптимальные углы вылета нейтрона ( $38^\circ \pm 2^\circ$ ) и  $pp$ -системы ( $-18^\circ \pm 1.5^\circ$ ), соответствующие максимально возможным в эксперименте энергиям протонов.

# Кинематическое моделирование реакции $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$ : второй этап



# Спектры энергии протонов для разных $E_{pp}$ (300 и 600 кэВ)



# Параметры эксперимента, полученные при моделировании реакции $d + {}^1\text{H} \rightarrow p + p + n$

---

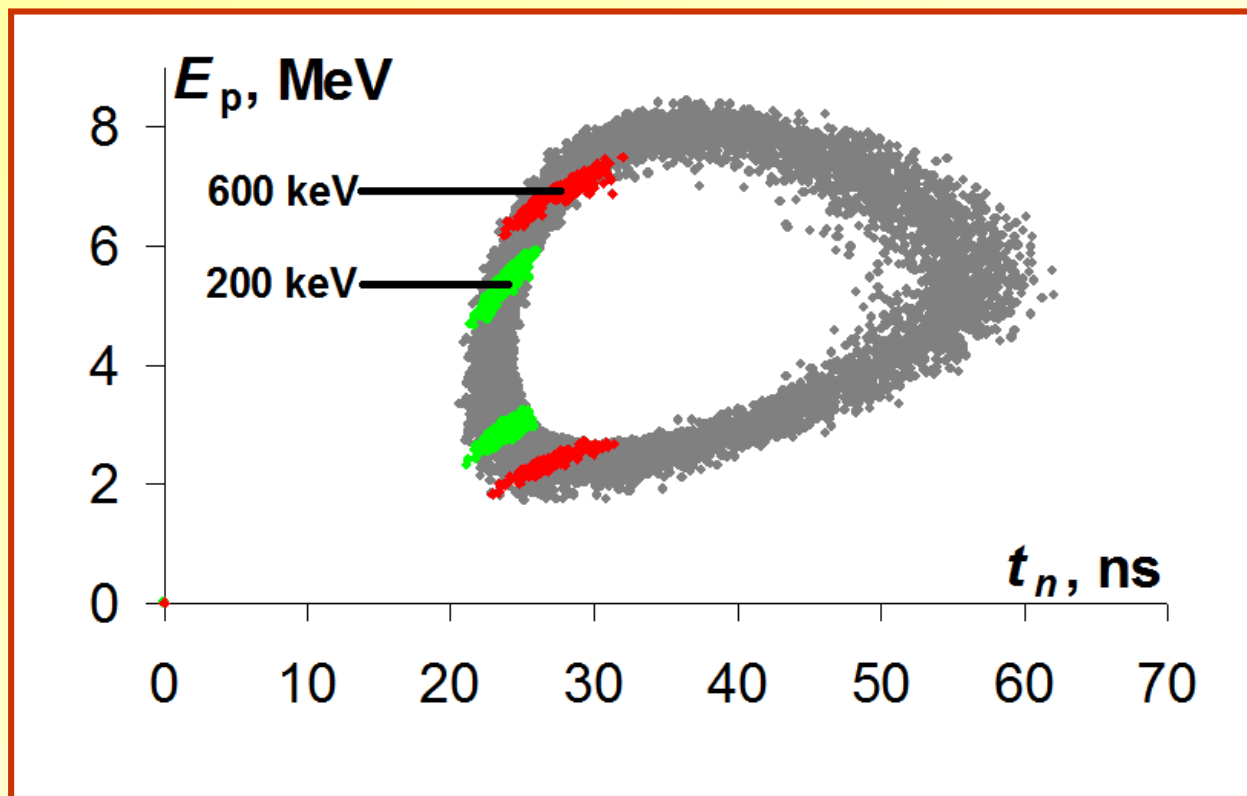
- Угол регистрации протона:  $18^\circ \pm 2.5^\circ$ .
- Диапазон измерения энергии протонов: 0.5 – 8 МэВ.
- Диапазон измерения  $\Delta E$ : 0.24 - 0.78 МэВ.
- Угол регистрации нейтрона:  $38^\circ \pm 2^\circ$ .
- Форма энергетического спектра протонов позволяет определить величину  $E_{pp}$ .
- Доступный для исследования диапазон  $E_{pp}$ : 200-600 кэВ.

## Выбор дополнительных параметров эксперимента – длина пролетной базы нейтрона

---

- Расстояние от мишени до нейтронного детектора определяется угловым размером, соответствующим углам вылета двухпротонной системы в двухчастичной реакции  $d+p \rightarrow (pp)+n$  при  $E_{pp}$  в интервале 200-600 кэВ.
- Возможное расстояние выбирается с учетом диаметра нейтронного детектора.
- Необходимо учитывать, что увеличение пролетной базы улучшает энергетическое разрешение детектора, но уменьшает его телесный угол (аксептанс).
- Оптимальная величина, удовлетворяющая данным требованиям, составляет 70 см (при диаметре нейтронного детектора 5 см).

## Выбор дополнительных параметров эксперимента – интервал времени пролета нейтрона

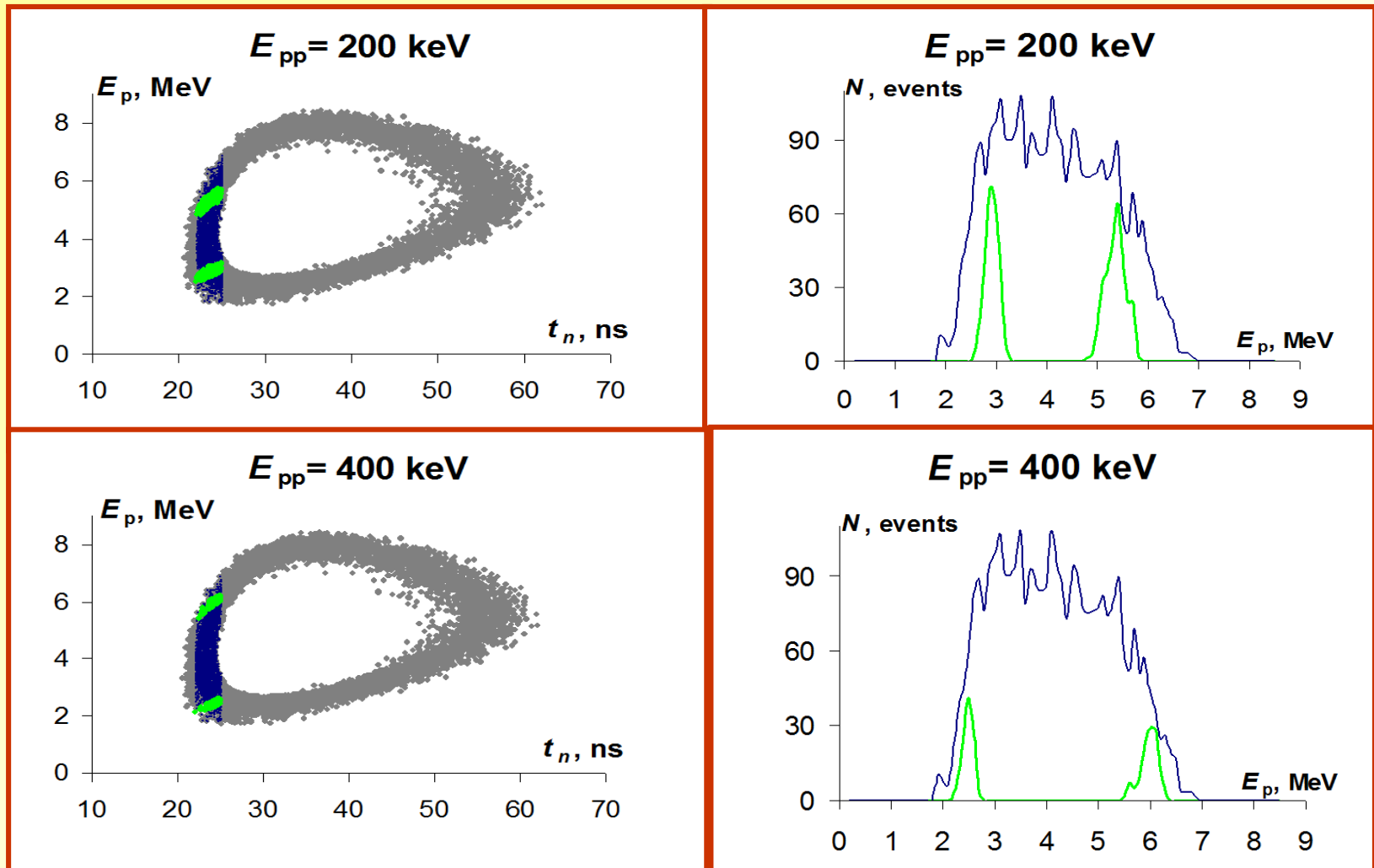


Выбор интервала времени пролета :

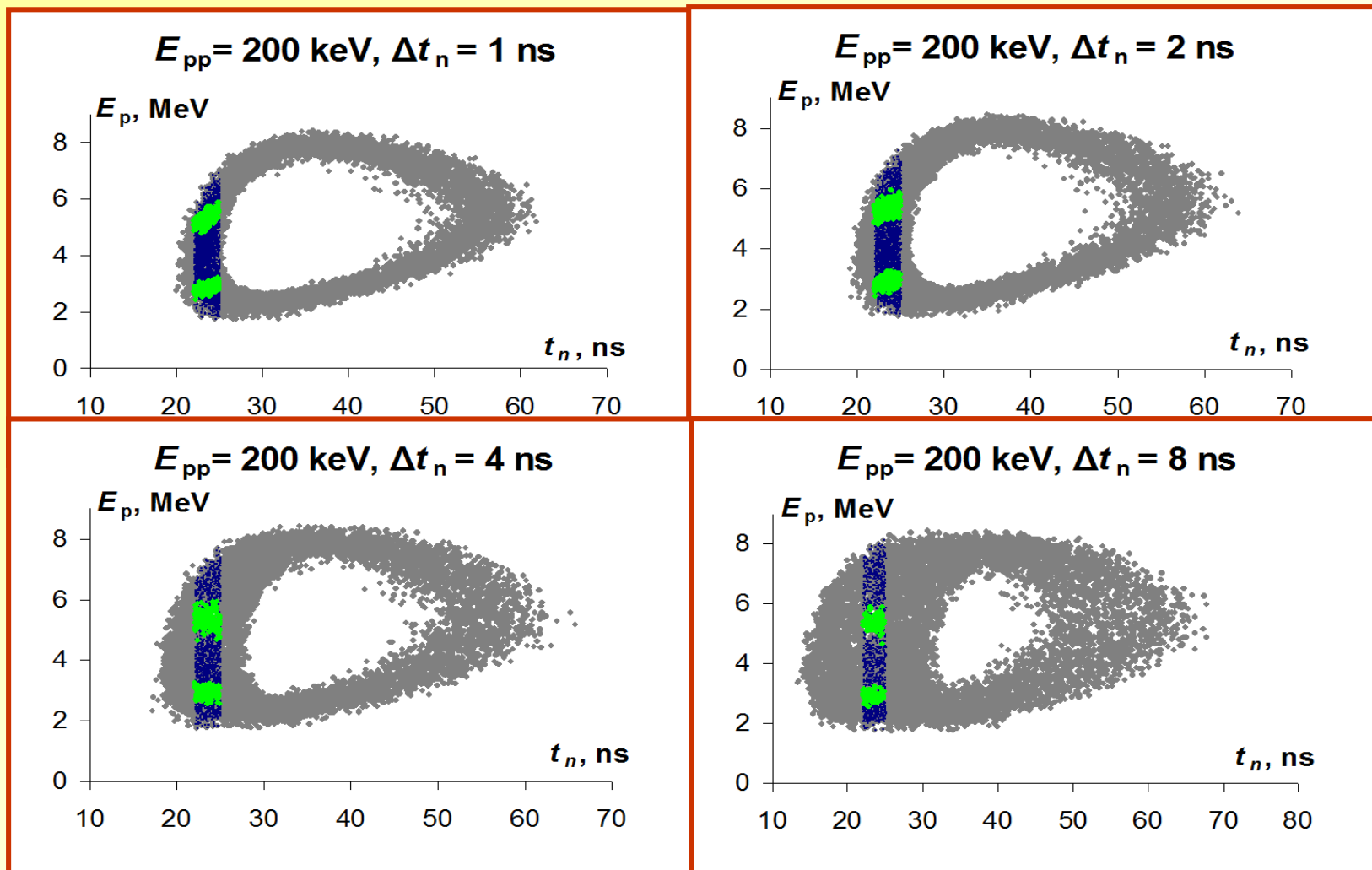
- 1) Максимальное соотношение «эффект/фон».
- 2) Незначительное уменьшение количества полезных событий .
- 3) Несовпадение пиков фона и пиков спектра после отбора.



# Диаграммы $E_p$ - $t_n$ и спектры протонов для выбранного интервала времени пролета (22-25 нс) без учета разрешения

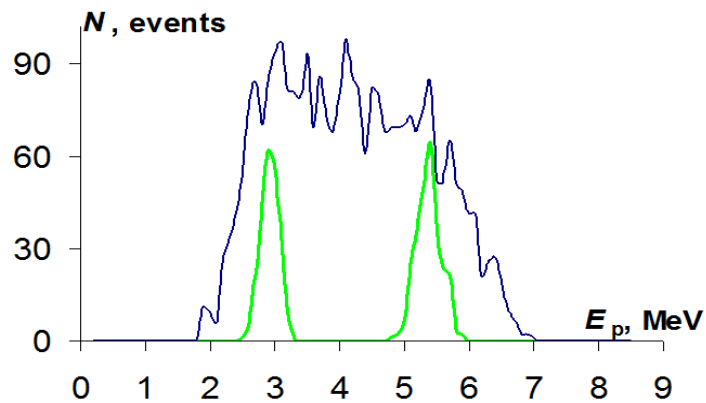


# Влияние временного разрешения на спектры протонов (длина пролетной базы нейтрона 70 см)

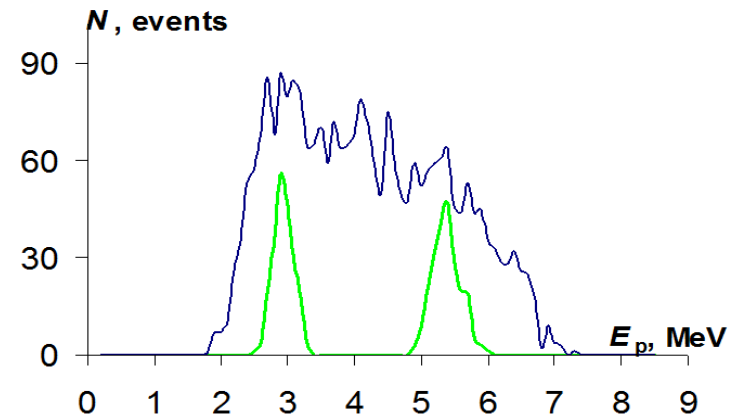


# Влияние временного разрешения на спектры протонов (длина пролетной базы нейтрона 70 см)

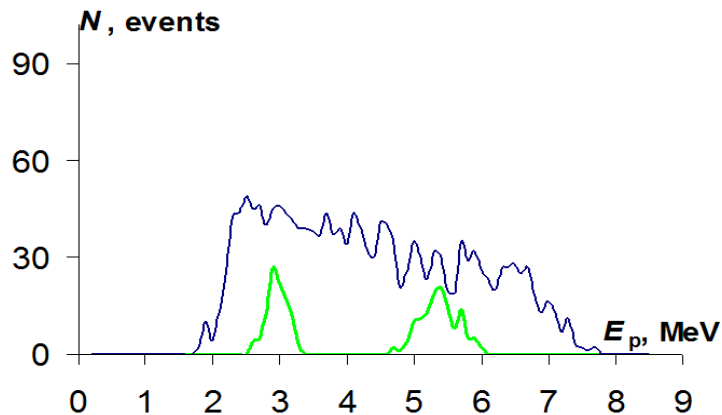
$E_{pp} = 200 \text{ keV}$ ,  $\Delta t_n = 1 \text{ ns}$



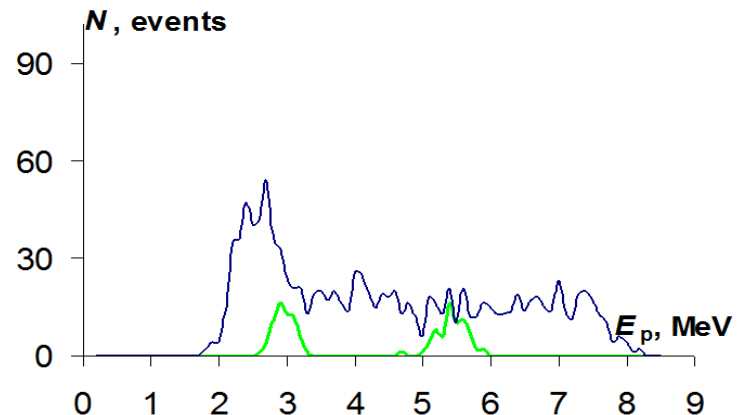
$E_{pp} = 200 \text{ keV}$ ,  $\Delta t_n = 2 \text{ ns}$



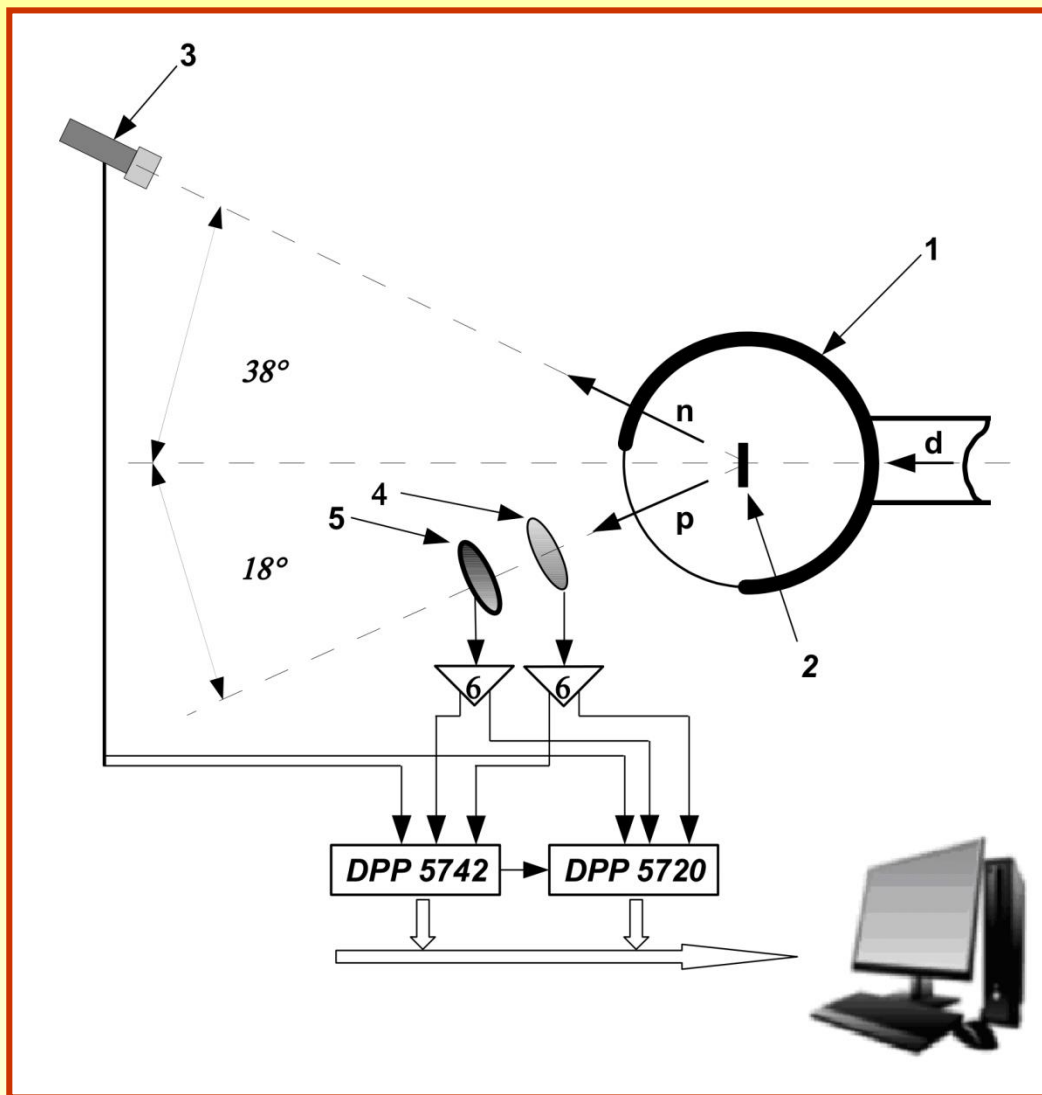
$E_{pp} = 200 \text{ keV}$ ,  $\Delta t_n = 4 \text{ ns}$



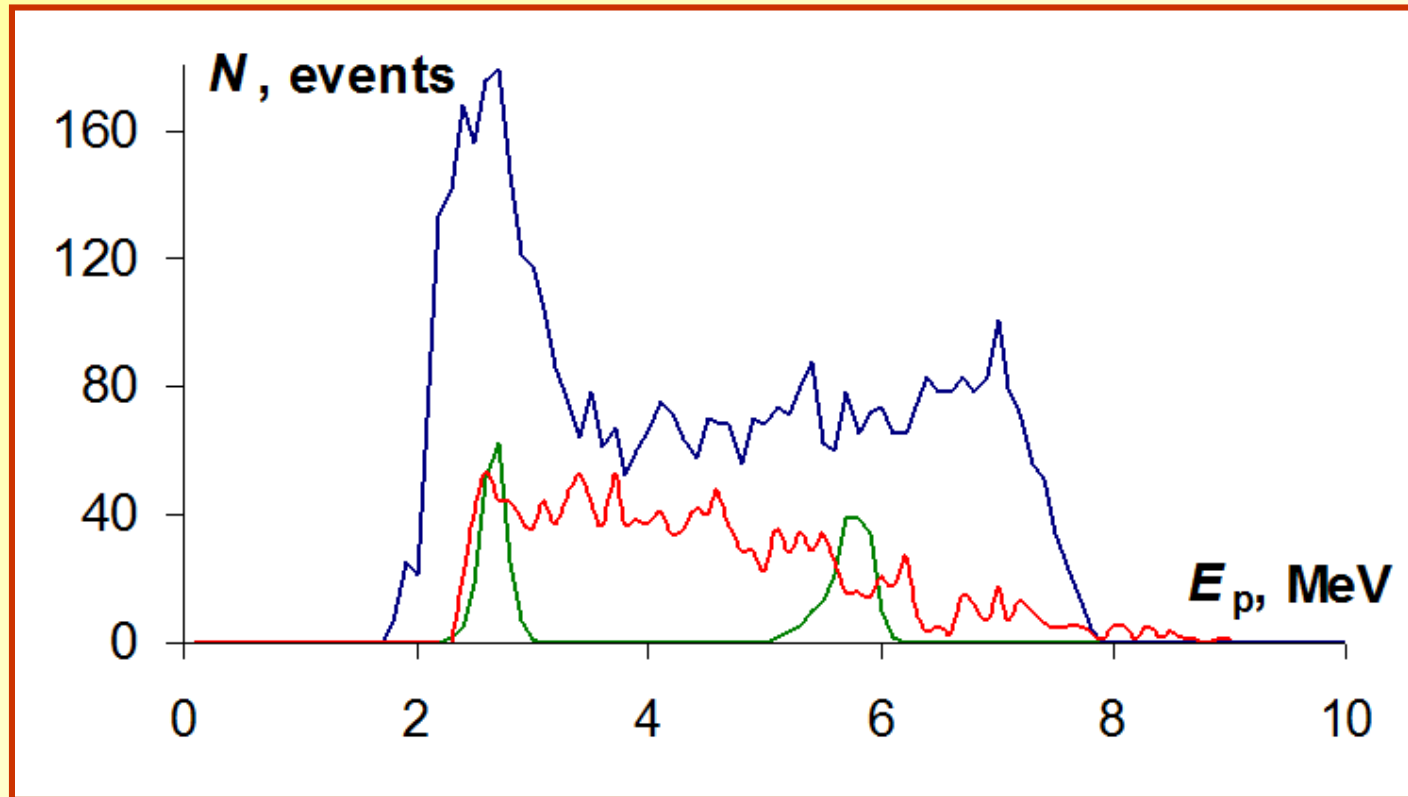
$E_{pp} = 200 \text{ keV}$ ,  $\Delta t_n = 8 \text{ ns}$



# Экспериментальная установка для регистрации заряженных частиц и нейтронов в реакции $d+{}^1\text{H}\rightarrow p+p+n$



# Сравнение результатов моделирования с предварительными экспериментальными данными



**Вывод:** Энергетический интервал полученного спектра протонов достаточен для определения  $E_{pp}$ . Для анализа формы спектра (наличия пиков для определенного значения  $E_{pp}$ ) необходимы определение времени пролета нейтрона с хорошим разрешением (<2 нс) и отбор событий в узком временном окне нейтронов.

# Заключение и выводы

---

- Результаты кинематического моделирования показали, что анализ формы спектра протонов при определенных параметрах эксперимента может дать информацию о  $E_{pp}$ .
- Определены оптимальные параметры эксперимента – расстояние между мишенью и нейтронным детектором, а также интервал времени пролета нейтронов для отбора экспериментальных данных (22-25 нс).
- Определена максимально допустимая величина временного разрешения ( $\leq 2$  нс).
- Проведено сравнение результатов моделирования и предварительных экспериментальных данных. Энергетический интервал полученного спектра протонов достаточен для определения  $E_{pp}$ . Необходимо измерение времени пролета нейтрона с хорошим разрешением ( $< 2$  нс) и отбор событий в узком временном окне пролета нейтронов.

---

**Спасибо за  
внимание!**

# Взаимосвязь энергии виртуального $pp$ -состояния и $a_{pp}$ :

---

$$\frac{1}{a_{pp}} = - \left( \frac{m_p E_{pp}}{\hbar^2} \right)^{1/2} - \frac{1}{2} r_{pp} \frac{m_p E_{pp}}{\hbar^2} + \dots$$