

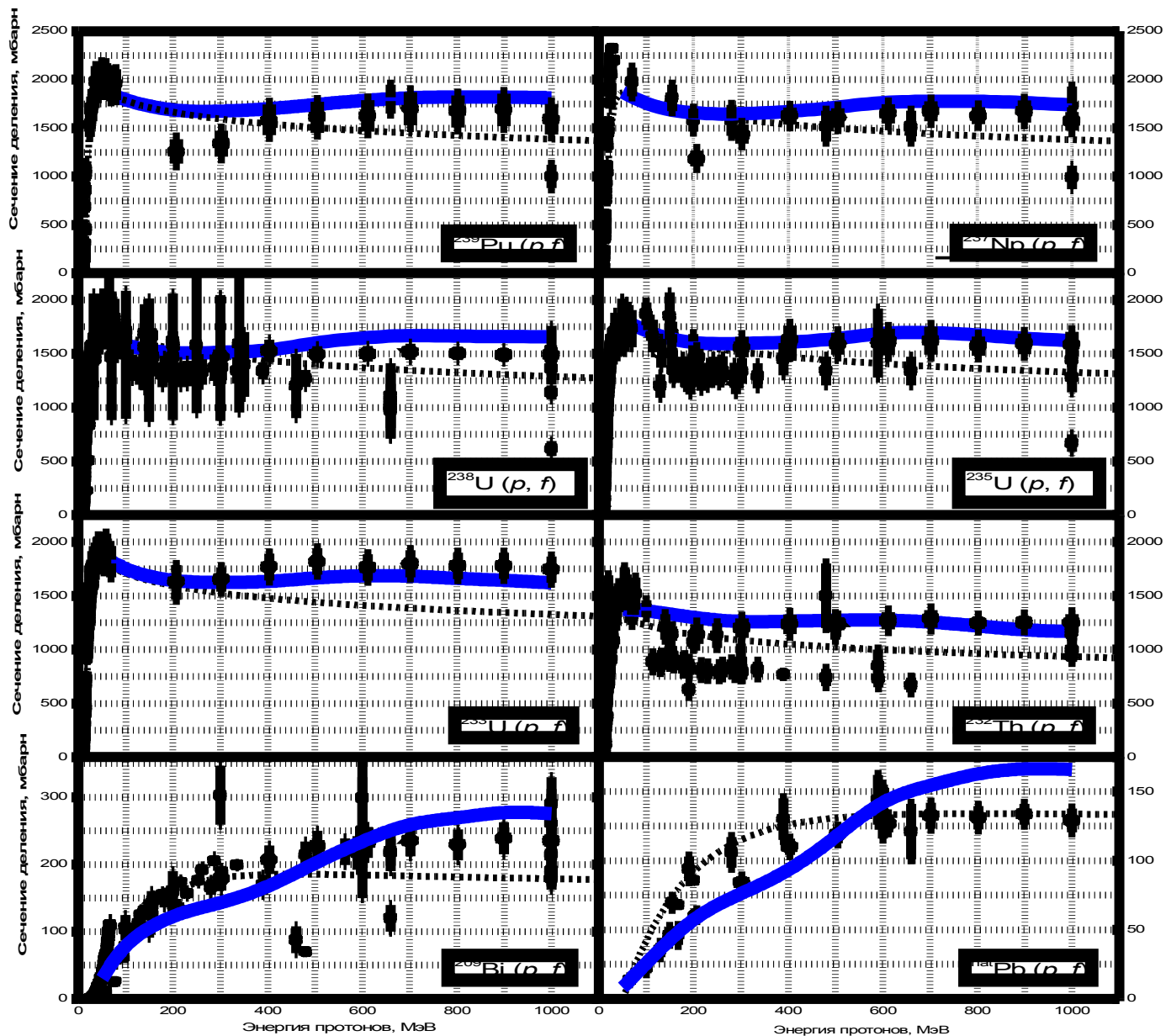
Исследование процесса деления ядер протонами и нейтронами промежуточных энергий

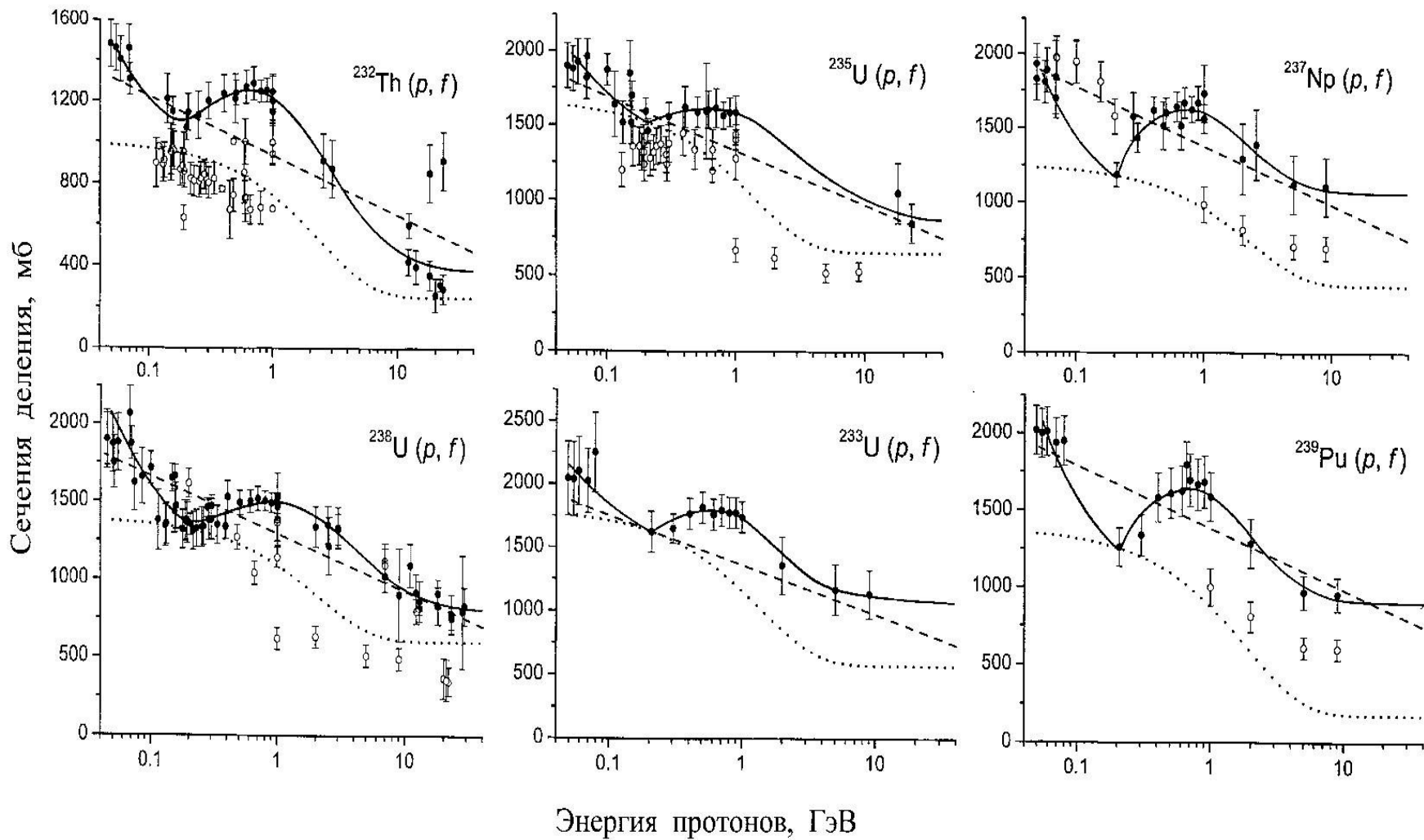
Л.А.Вайшнене, В.Г.Вовченко

План

1. Основные результаты, полученные на протонах с E_p 200-1000 МэВ
2. Оценка сечений деления ядер-актинидов нейтронами с $E_n > 200$ МэВ
3. Возможности создания нейтронных пучков с энергией от 200 до 1000 МэВ
4. Измерение характеристик деления ядер-актинидов:
 - а/ Измерение полных сечений деления нейтронами с $E_n > 200$ МэВ
 - б/ Измерение массовых распределений осколков деления протонами с энергией в интервале 200-1000 МэВ

Энергетическая зависимость сечений деления

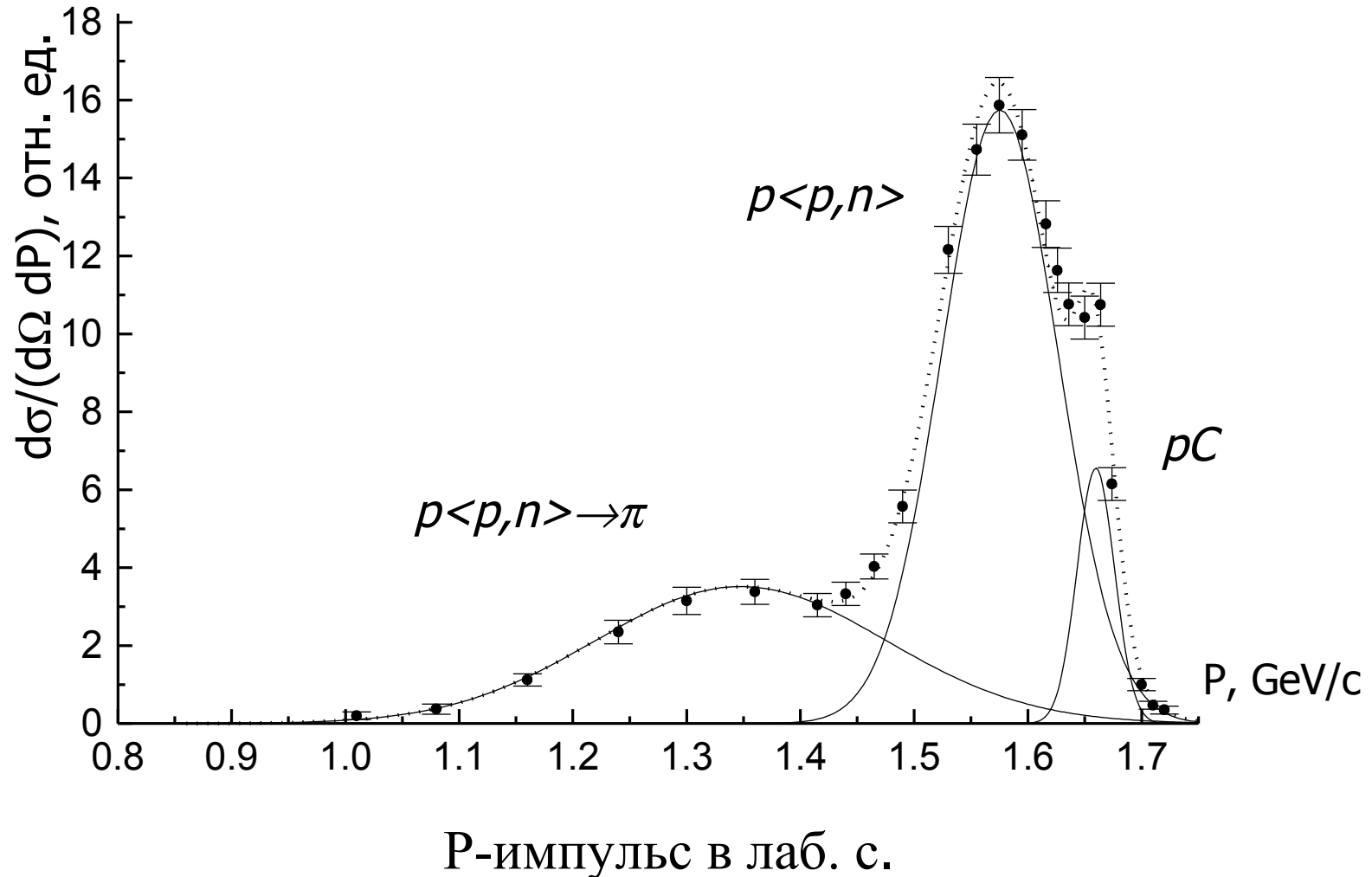




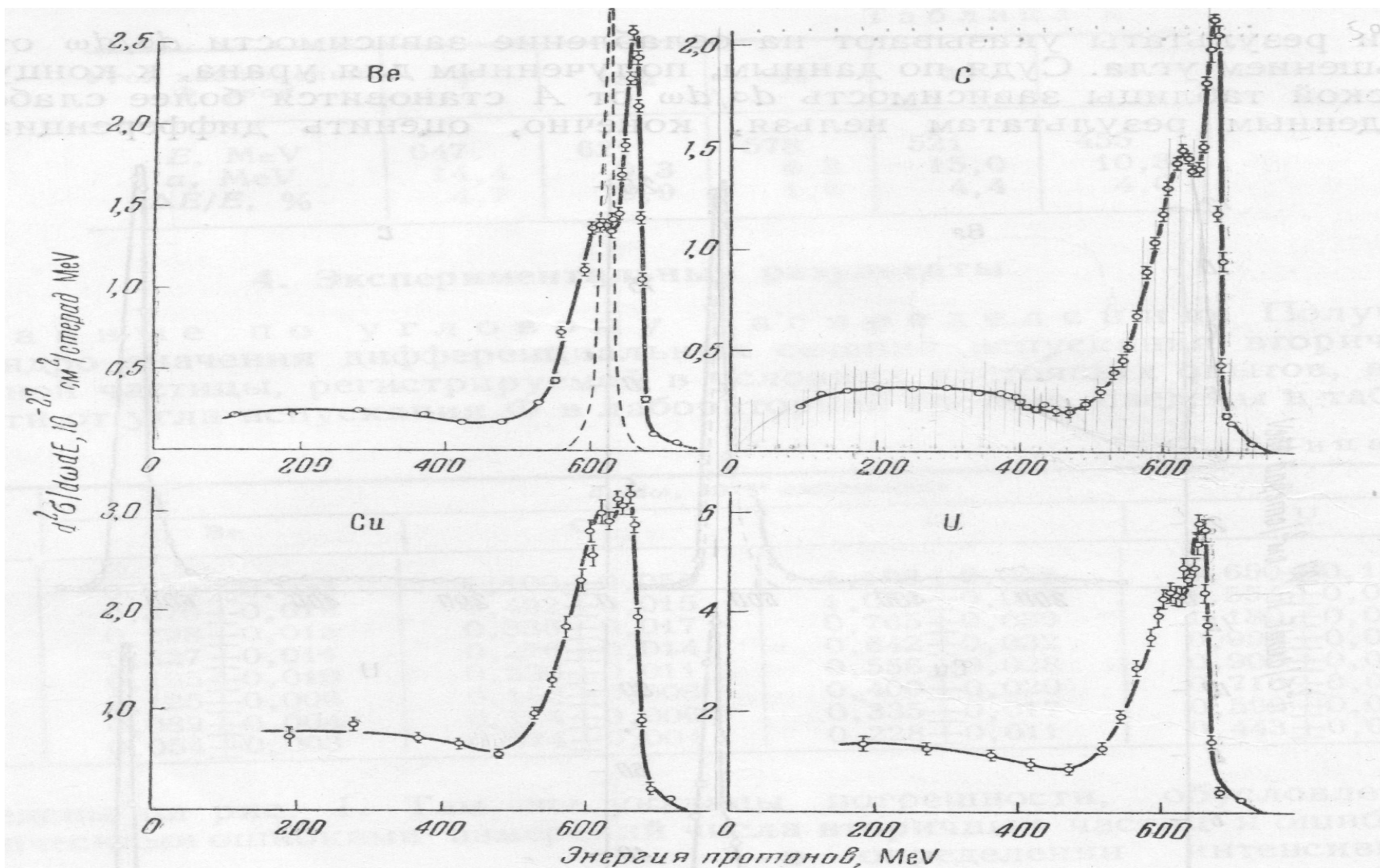
Ю. А. Честнов. // ЯФ 71, №12, с. 2052–2063 (2008).

$pC, 12^\circ, 1 \text{ GeV}$

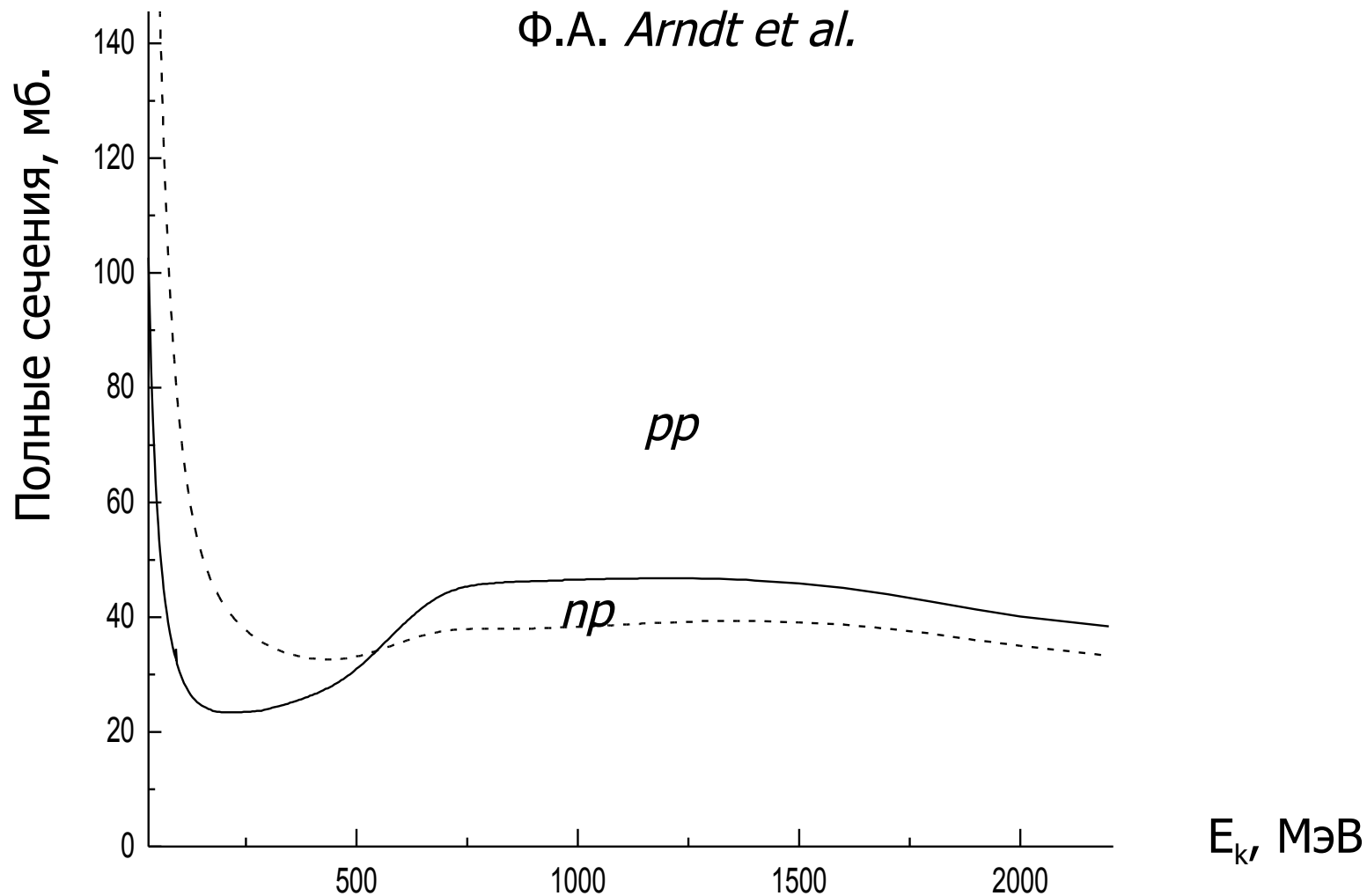
В качестве примера спектра вторичных протонов приведен спектр протонов, полученный при создании пучка поляризованных протонов.



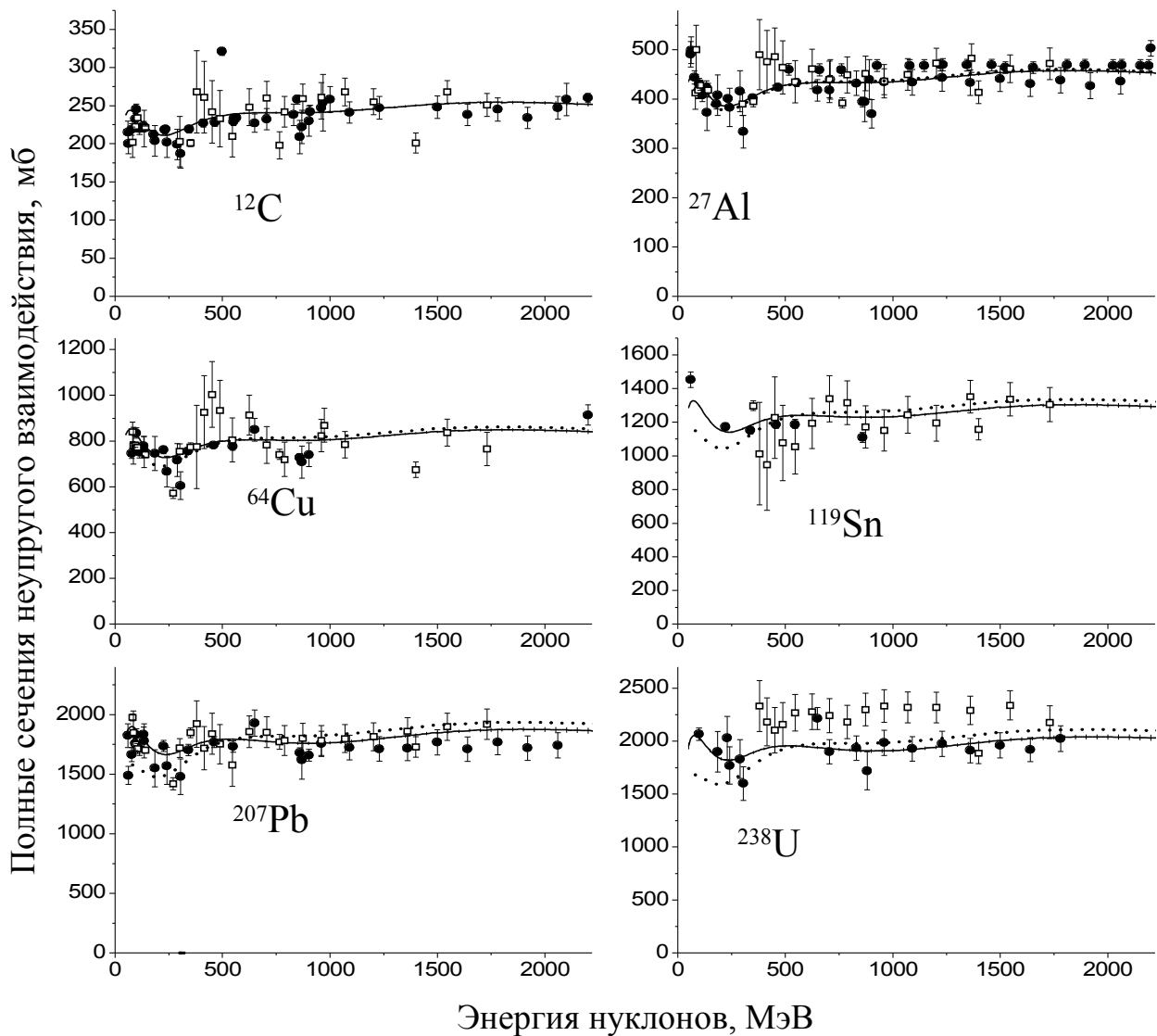
Спектры протонов, рассеянных на ядрах под углом 12град. $E_p=660$ МэВ



ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛООНОВ



Неупругое взаимодействие протонов с ядрами



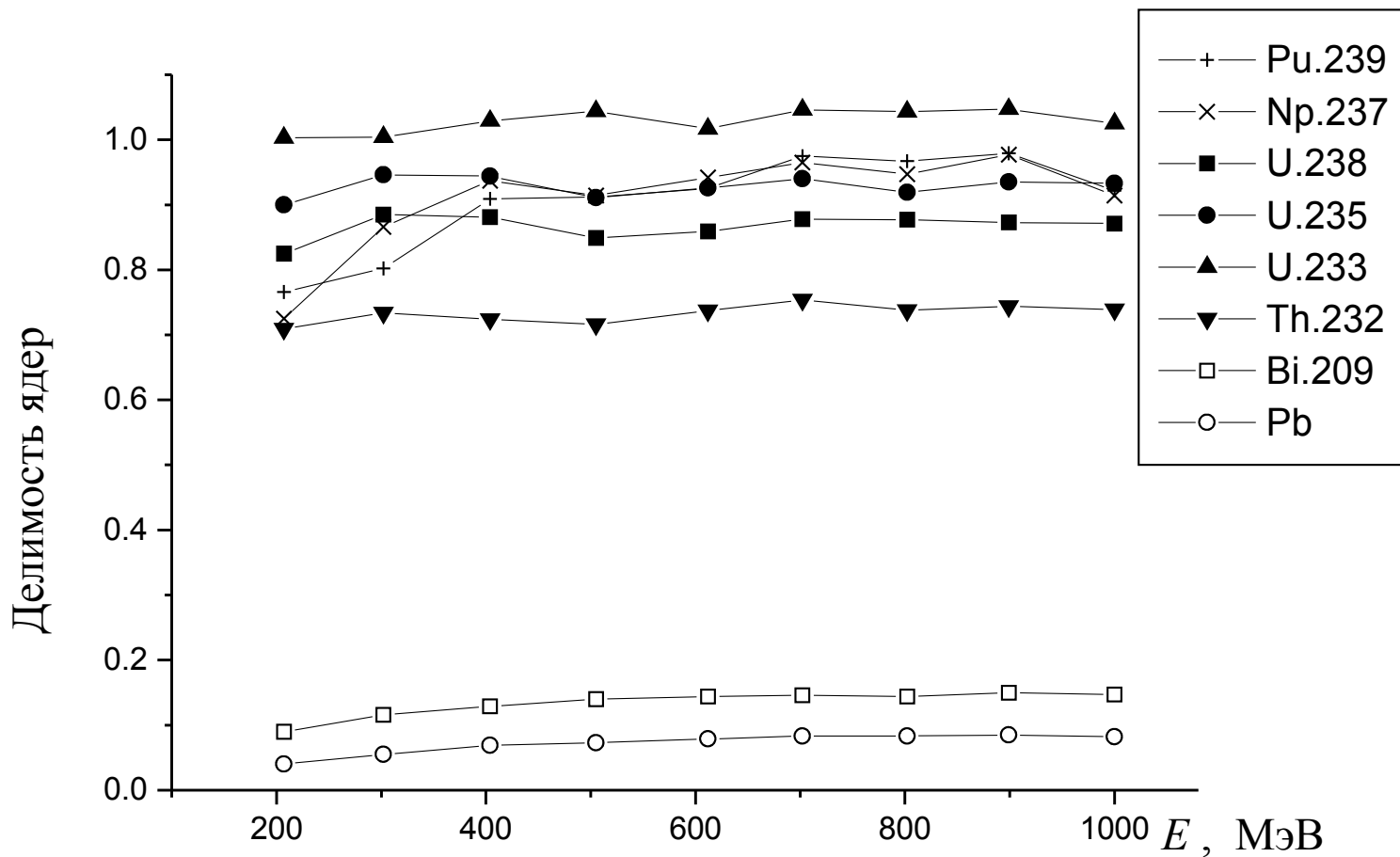
Сечения деления ядер. Используя модель описания сечений неупругого взаимодействия нуклонов с ядрами, грубо деление ядер можно свести к двум последовательным процессам – возбуждения ядра и его деления:

$$\sigma_f(E, A, Z) = \sigma_{in}(E, A, Z) f(E, x),$$

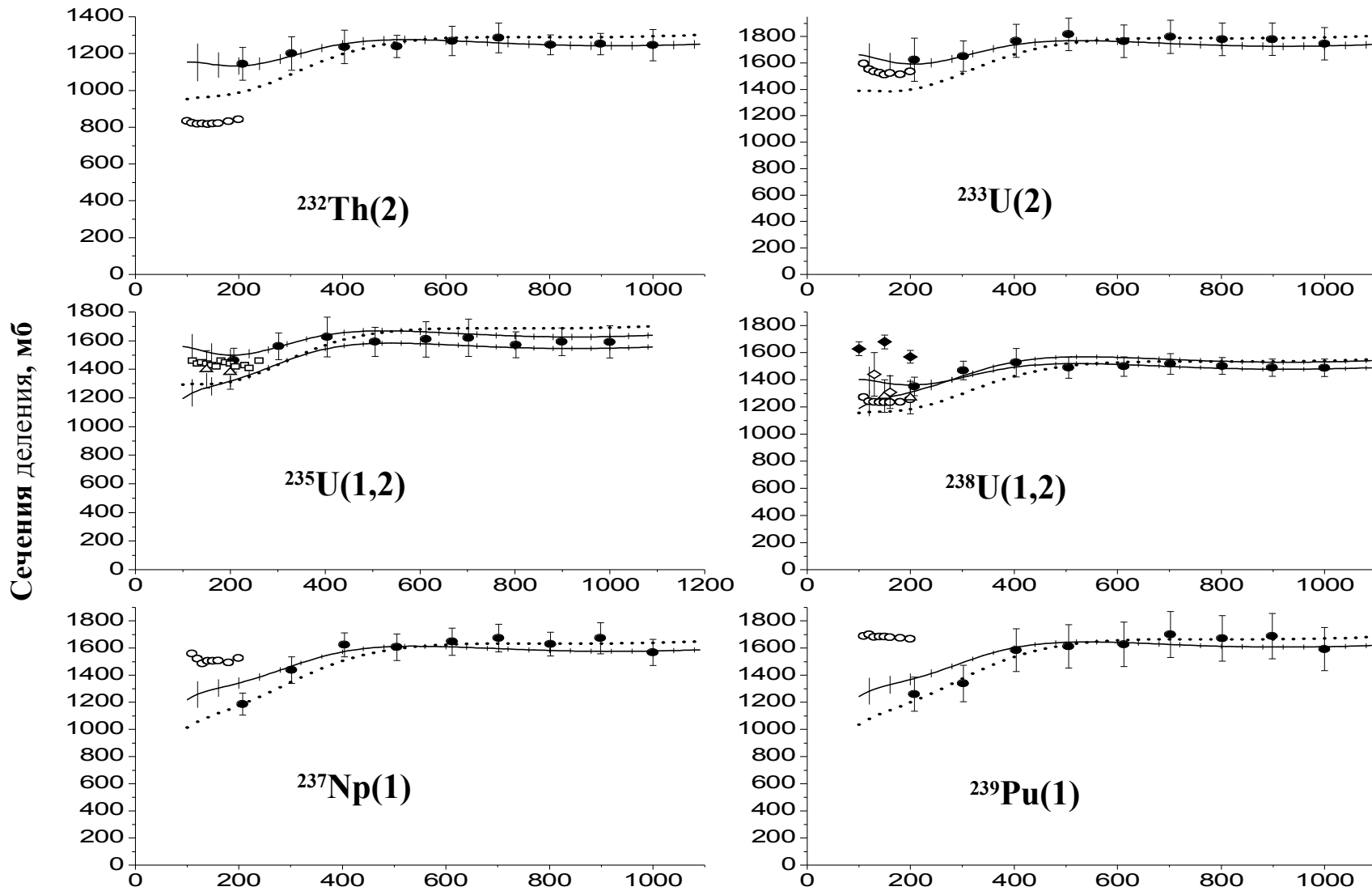
где функция $f(E, x)$ - делимость ядра с параметром делимости $x = Z^2/A$.

На следующем слайде представлена оценка делимости для 8 ядер, измеренных в ПИЯФ, когда полные сечения измерялись с одновременной регистрацией двух массивных осколков на совпадения.

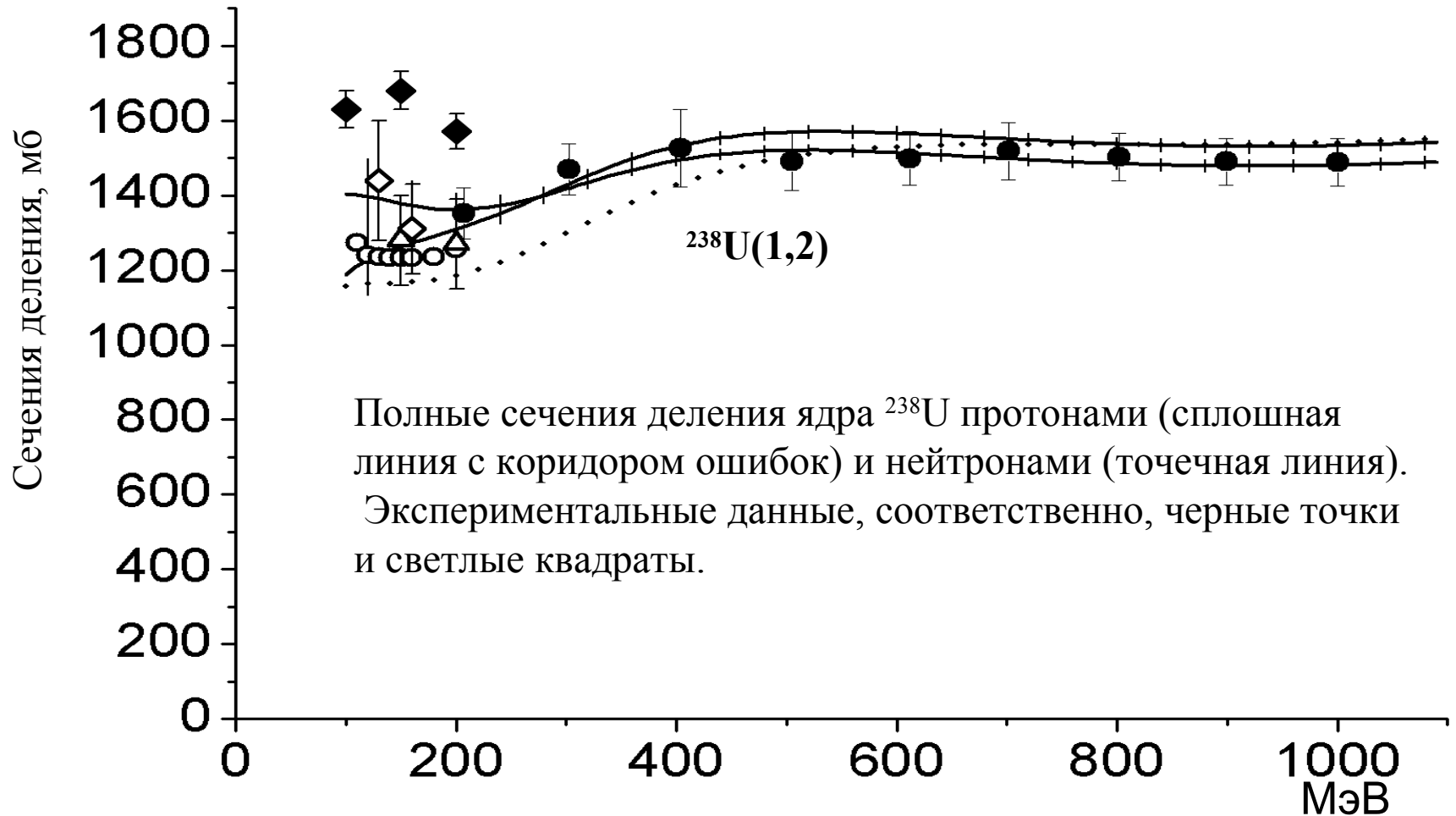
Энергетическая зависимость делимости ядер



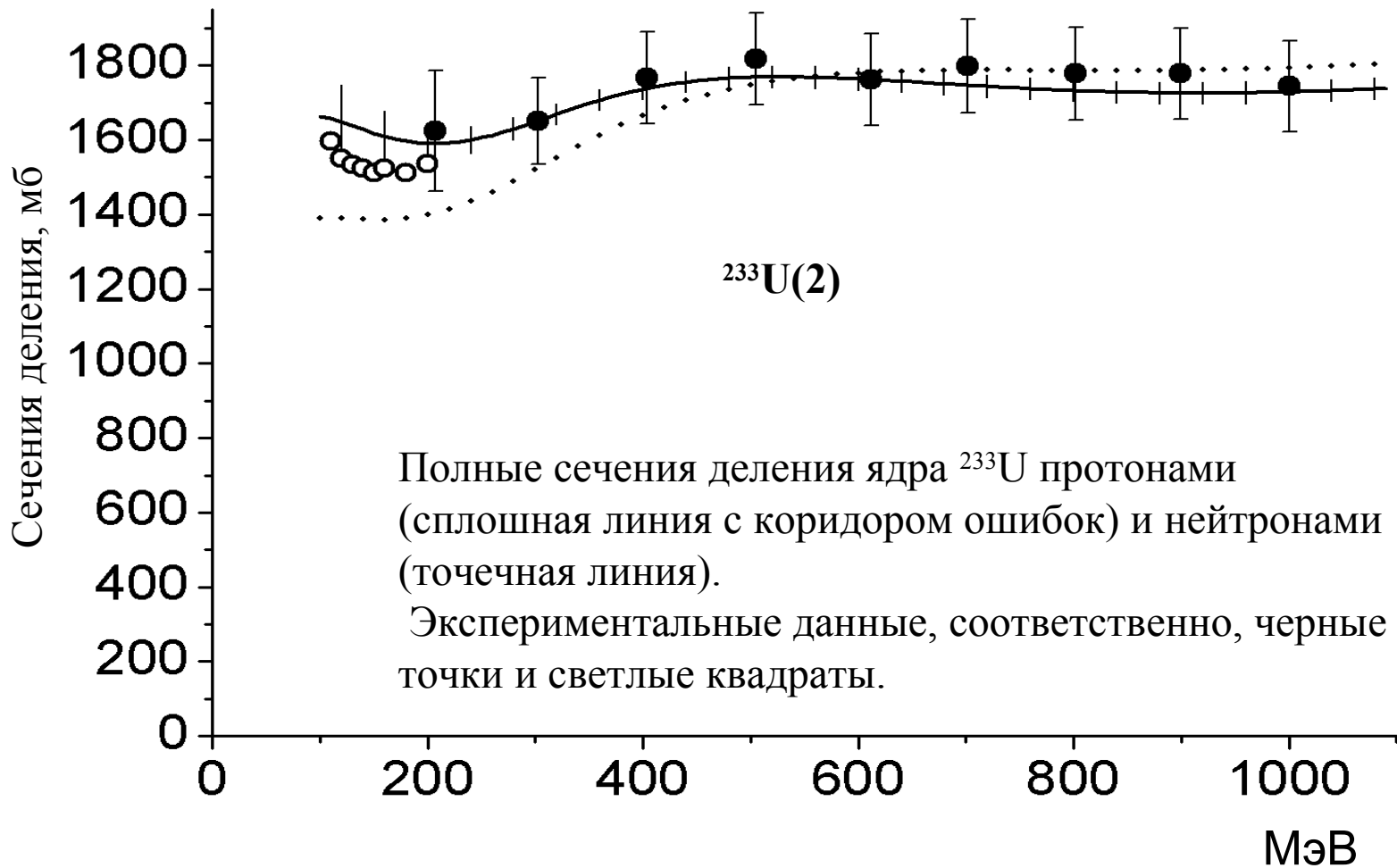
СЕЧЕНИЯ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР АКТИНИДОВ ПРОТОНАМИ И НЕЙТРОНАМИ



СЕЧЕНИЯ ДЕЛЕНИЯ ^{238}U ПРОТОНАМИ И НЕЙТРОНАМИ



СЕЧЕНИЯ ДЕЛЕНИЯ ^{233}U ПРОТОНАМИ И НЕЙТРОНАМИ



СЕЧЕНИЯ ДЕЛЕНИЯ ^{239}Pu ПРОТОНАМИ И НЕЙТРОНАМИ

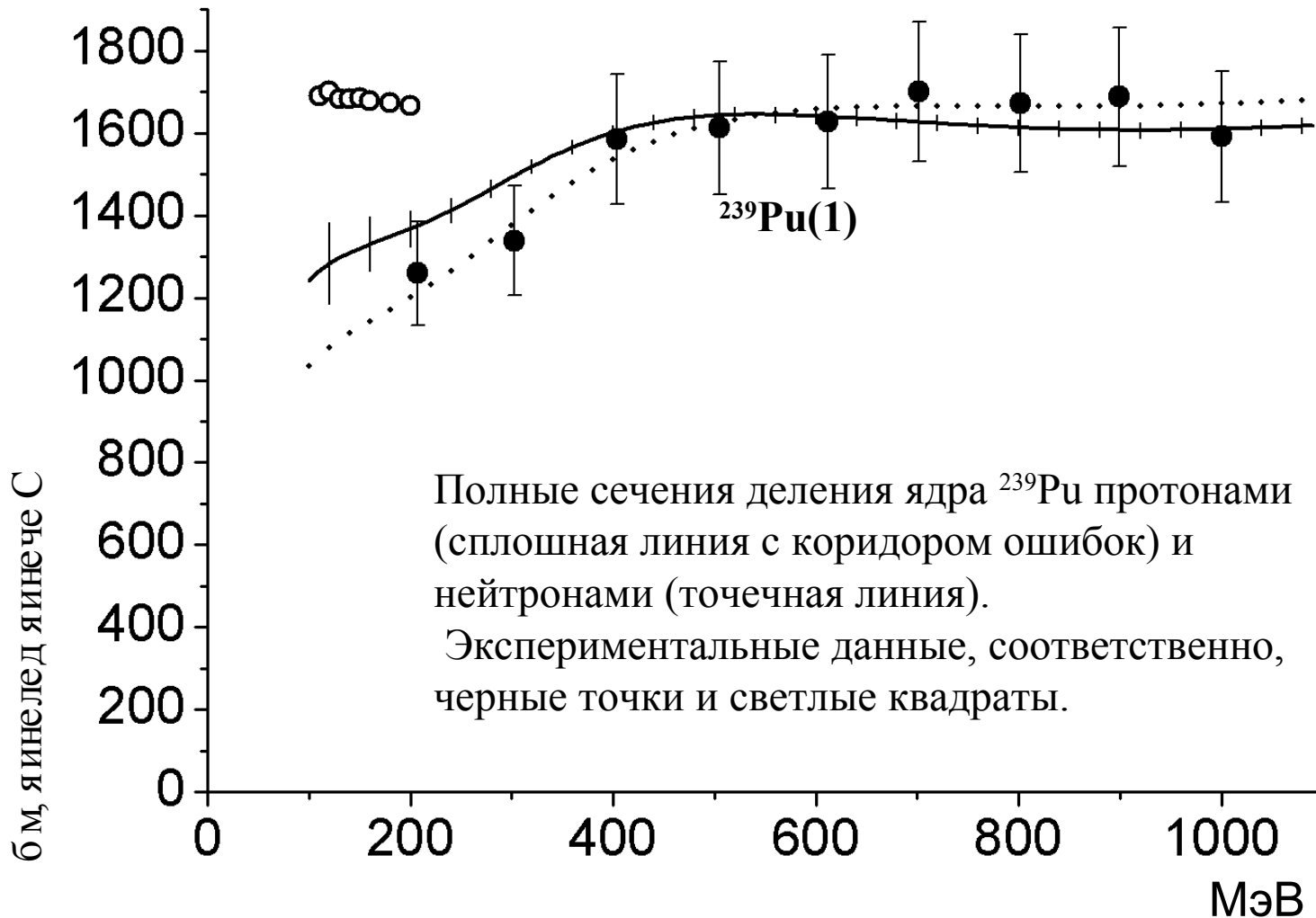


Схема вывода пучков в экспериментальный зал синхроциклотрона

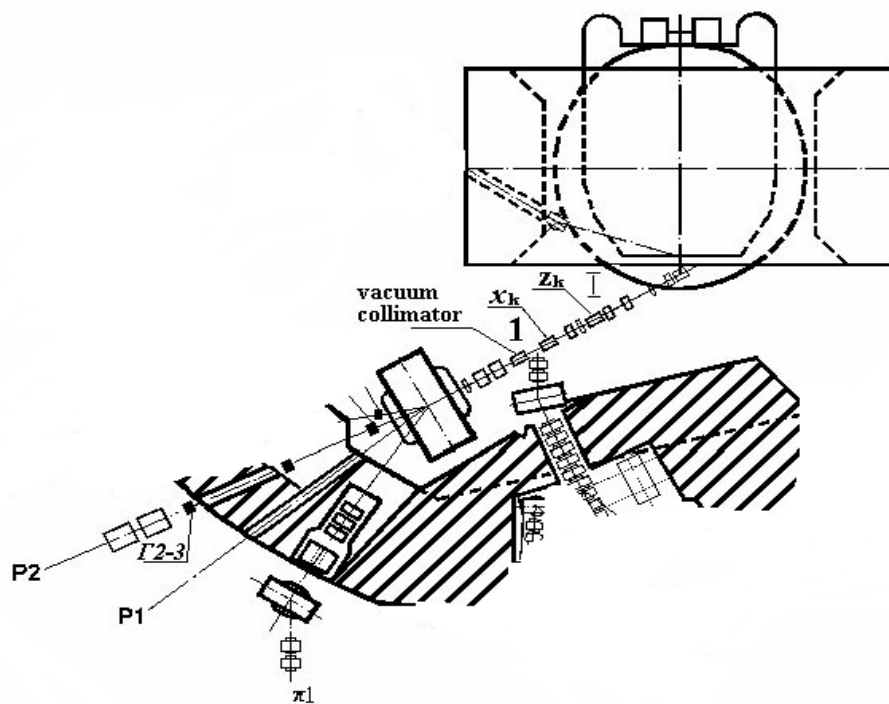
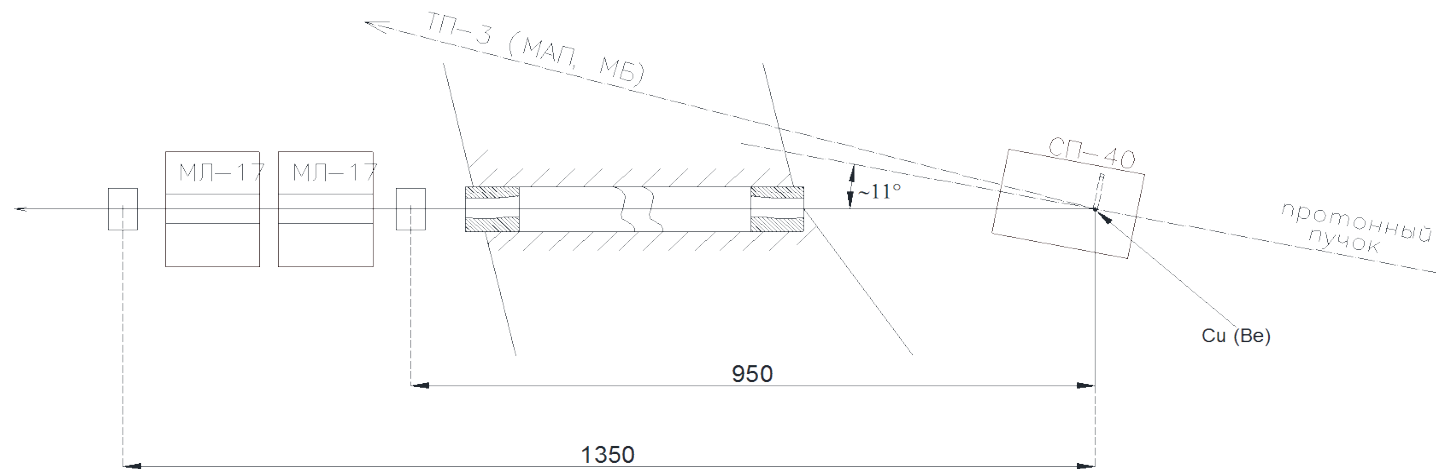
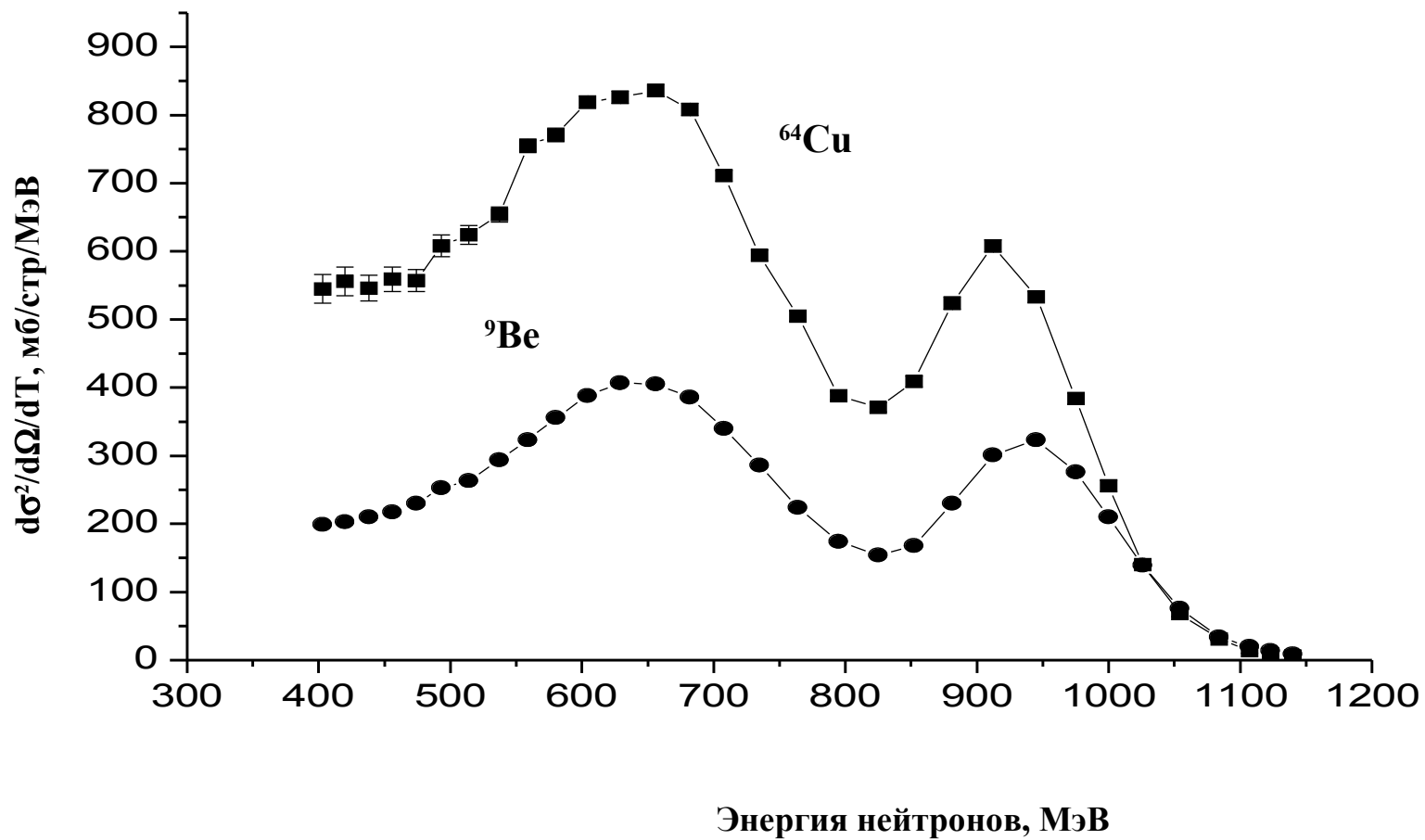


СХЕМА ВЫВОДА НЕЙТРОННОГО ПУЧКА ИЗ СП-40

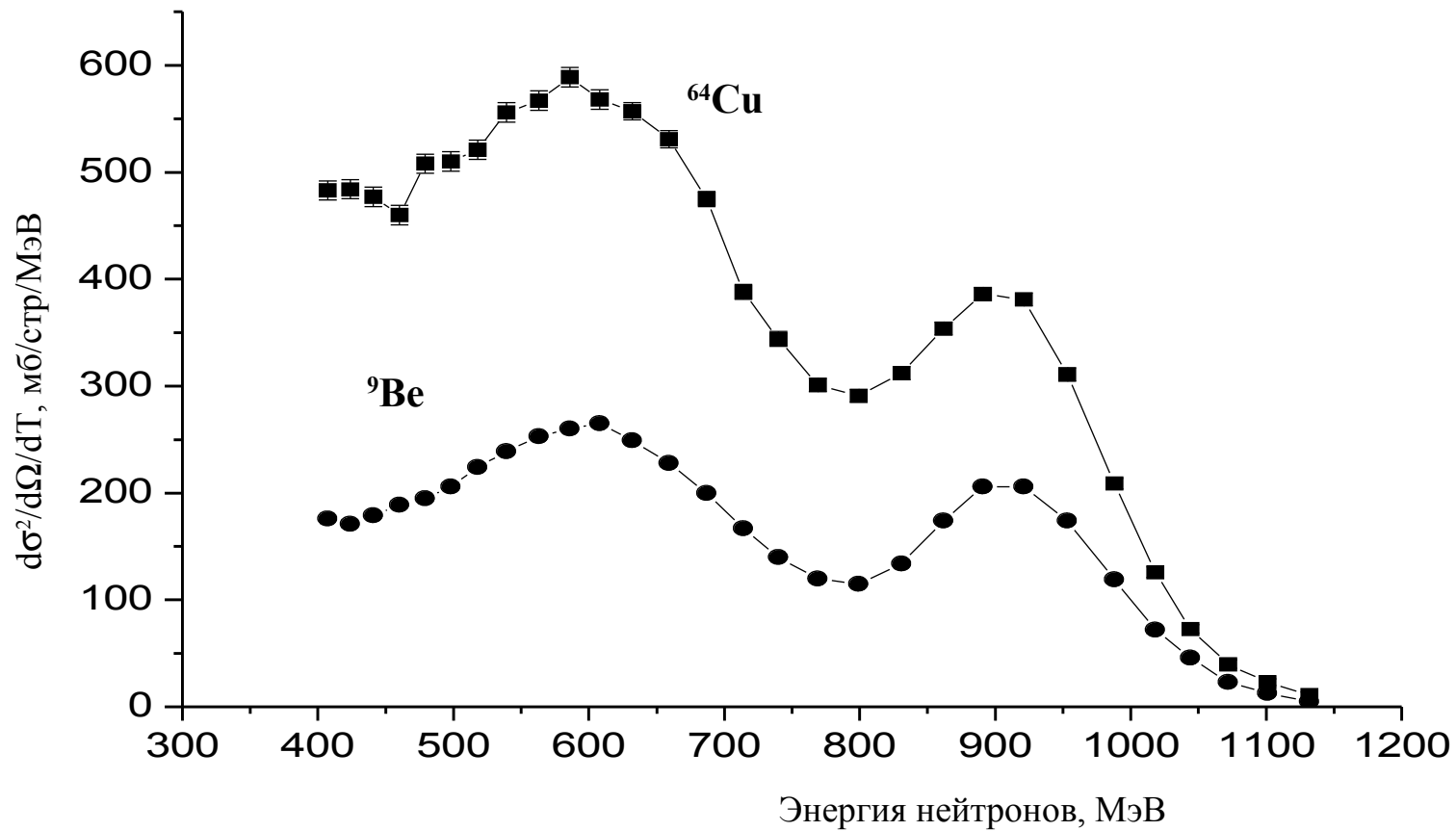


Спектры нейтронов под углом $\theta_{Lab}=7.5^\circ$
 $E_p=1000$ МэВ



Спектры нейтронов под углом $\theta_{Lab}=11.3^\circ$

$E_p=1000$ МэВ



Параметры нейтронного пучка

- 1. Возможный поток нейтронов на мишени регистрирующей аппаратуры в
- $\Delta E_n \approx 100$ МэВ:

НО-М	$E_n=450$ МэВ	$E_n=900$ МэВ	Y_1	Y_2
Be σ_{pBe}	$19 \cdot 10^{-27}$	$20 \cdot 10^{-27}$	$\sim 5 \cdot 10^5$	$\sim 2,5 \cdot 10^5$
Cu σ_{pCu}	$47 \cdot 10^{-27}$	$38 \cdot 10^{-27}$	$\sim 10,5 \cdot 10^5$	$\sim 5 \cdot 10^5$

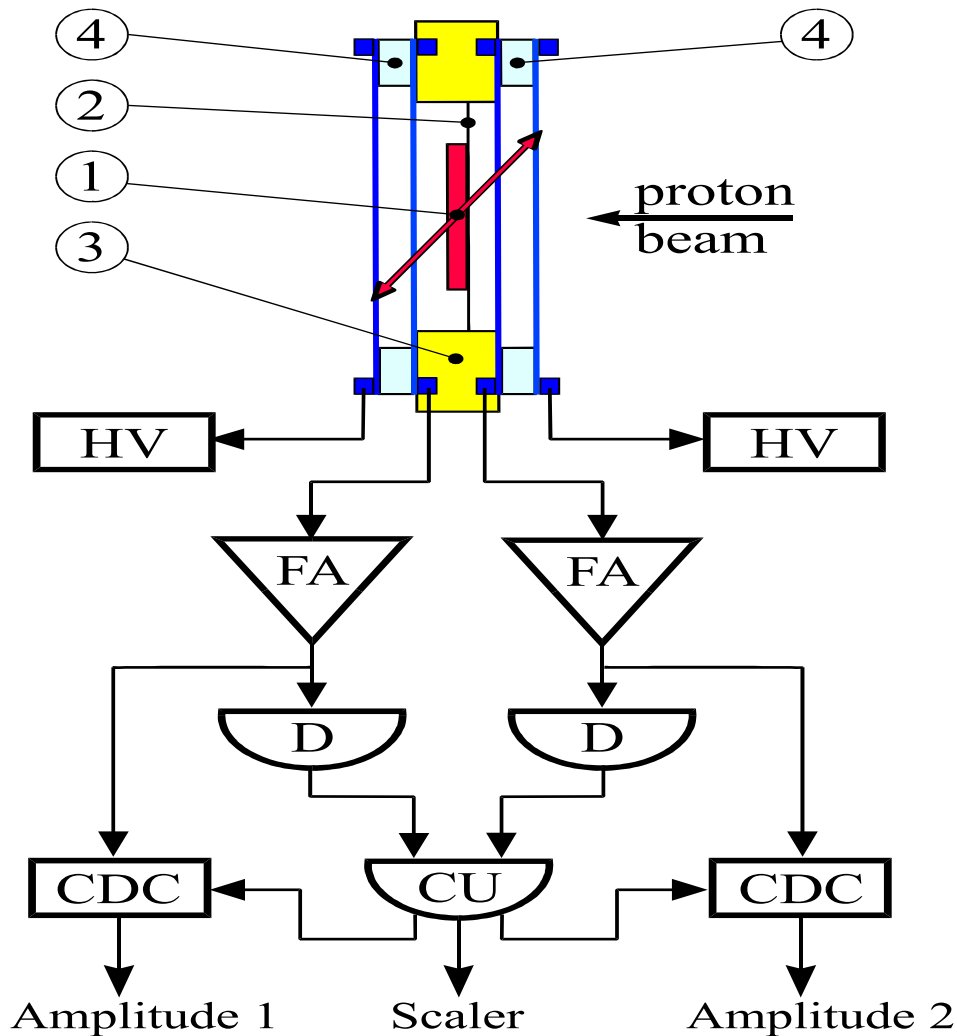
- 2. Вредный фон: γ - фон, фон медленных нейтронов (сечение деления велико).
- Методы борьбы: **а)** конвертор (Pb) и очищающий магнит, **б)** тщательный отбор по времени пролета.

Л.Вайшнене

Преимущества ПШЛС:

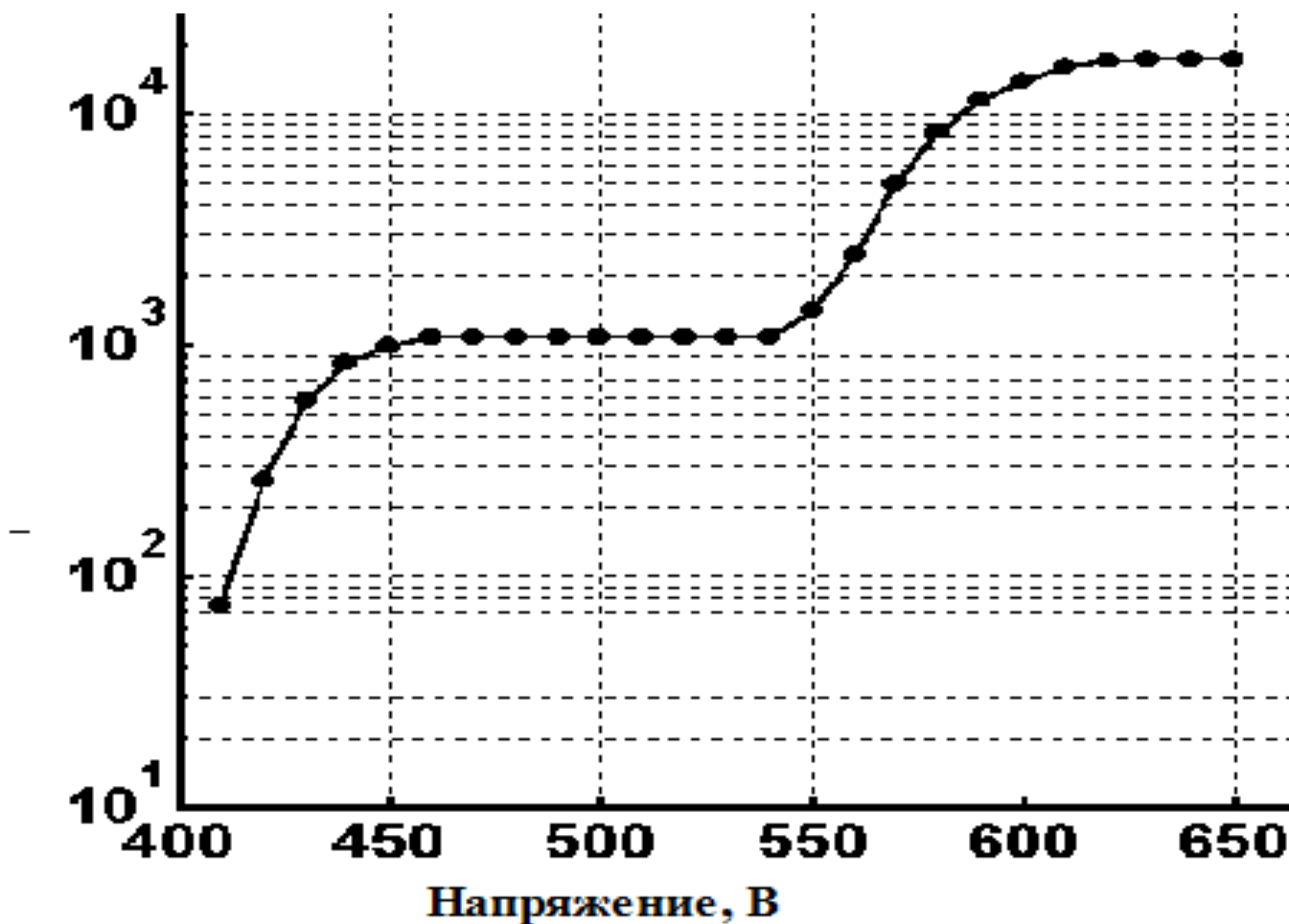
- 1. Высокая эффективность регистрации осколков;**
- 2. Хорошие временные характеристики**
- 3. Нечувствительность к легким частицам и в связи с этим возможность использования их в прямом пучке.**

Схема регистрации делительных событий.

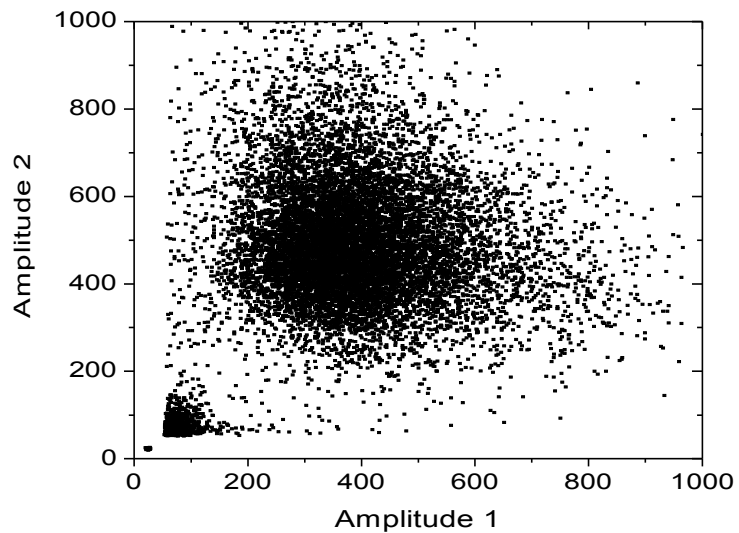


- 1. мишень;
- 2. подложка;
- 3. крепление мишени;
- 4. ППЛС;
- HV- источник высокого напряжения;
- FP- предусилитель;
- D- формирователь;
- CDC -преобразователь заряд-код;
- CU - схема совпадений.

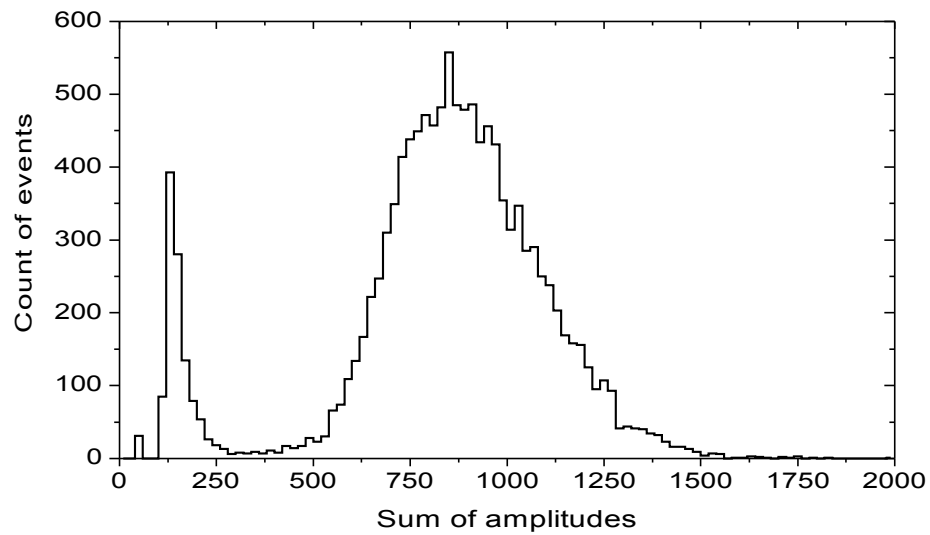
Зависимость эффективности регистрации ППЭС осколков деления и альфа-частиц от приложенного напряжения



Амплитудные спектры деления ^{238}U



a)

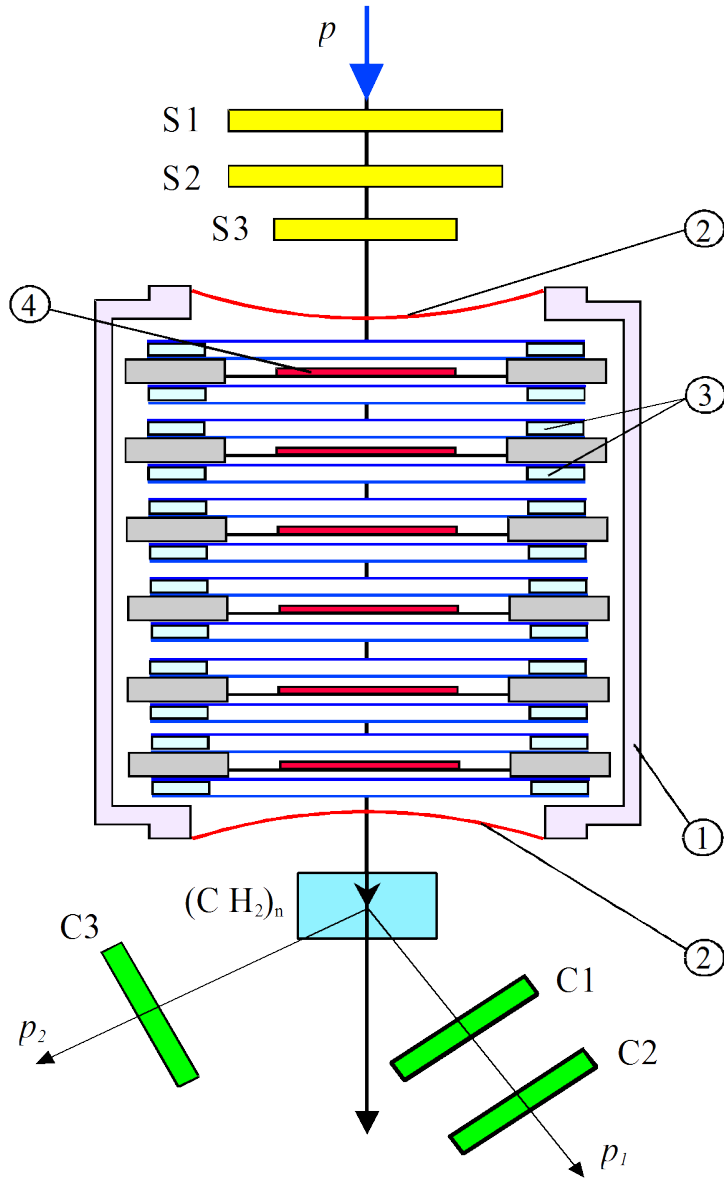


b)

3 критерия отбора:

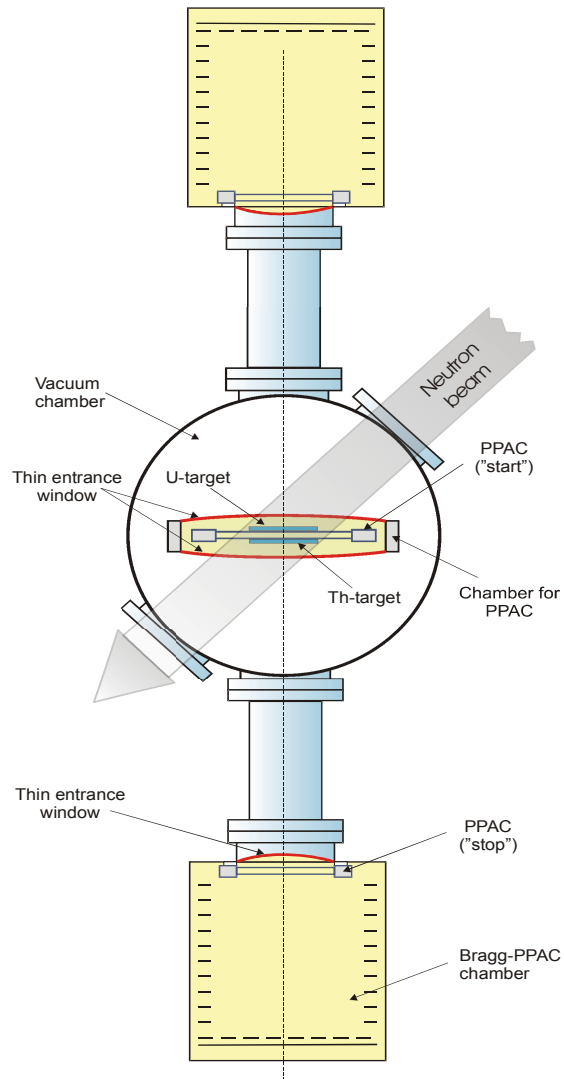
- 1. Пороговый критерий;**
- 2. Критерий совпадений;**
- 3. Критерий полной кинетической энергии**

Схема установки для измерения деления ядер протонами и нейтронами



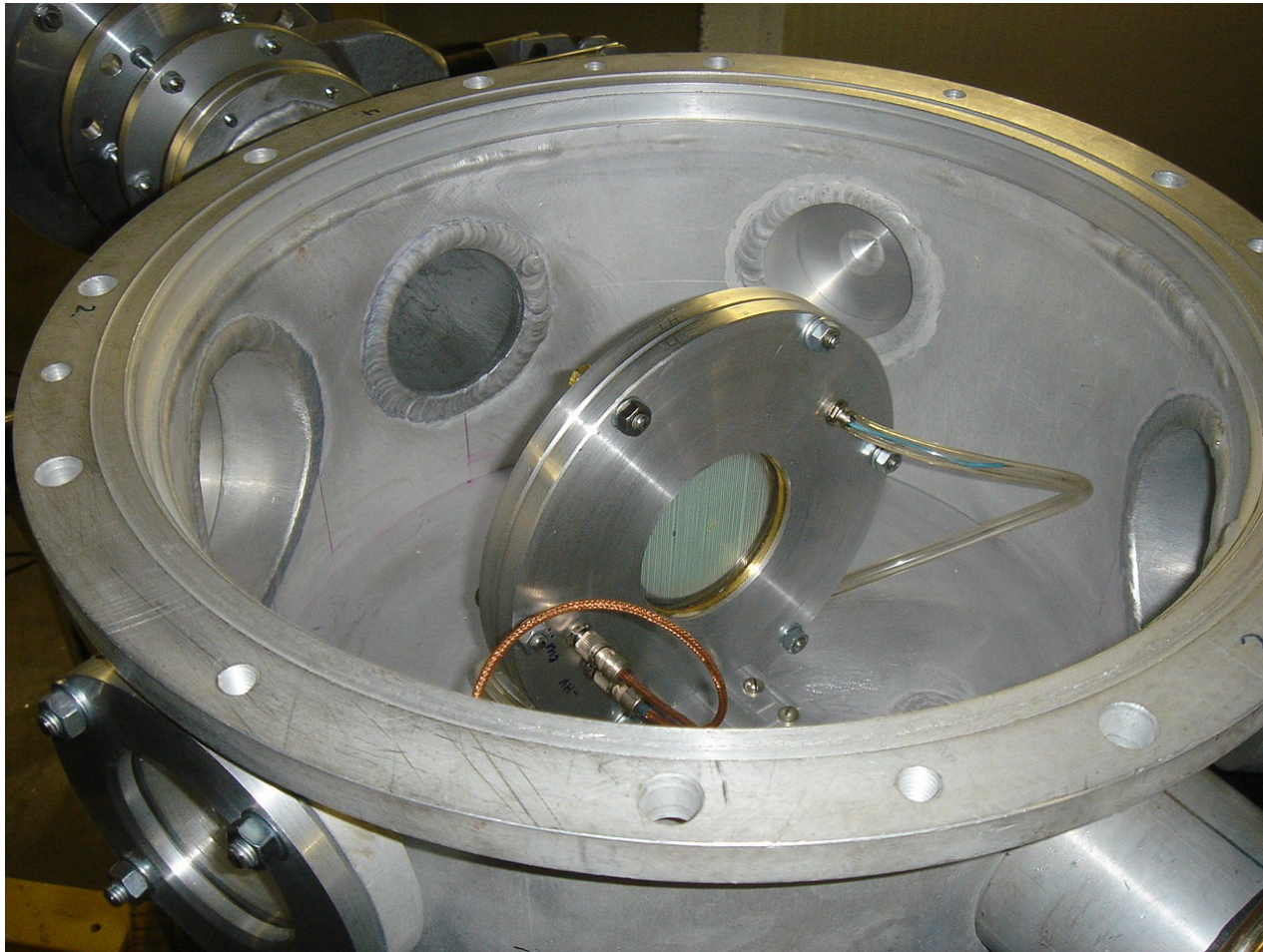
- 1 – камера, наполненная гептаном;
- 2 – входное окно;
- 3 – ППЛС;
- 4 – мишень;
- S1-S3, C1-C3 – сцинтилляционные счетчики

Двухплечевой времяпролетный спектрометр

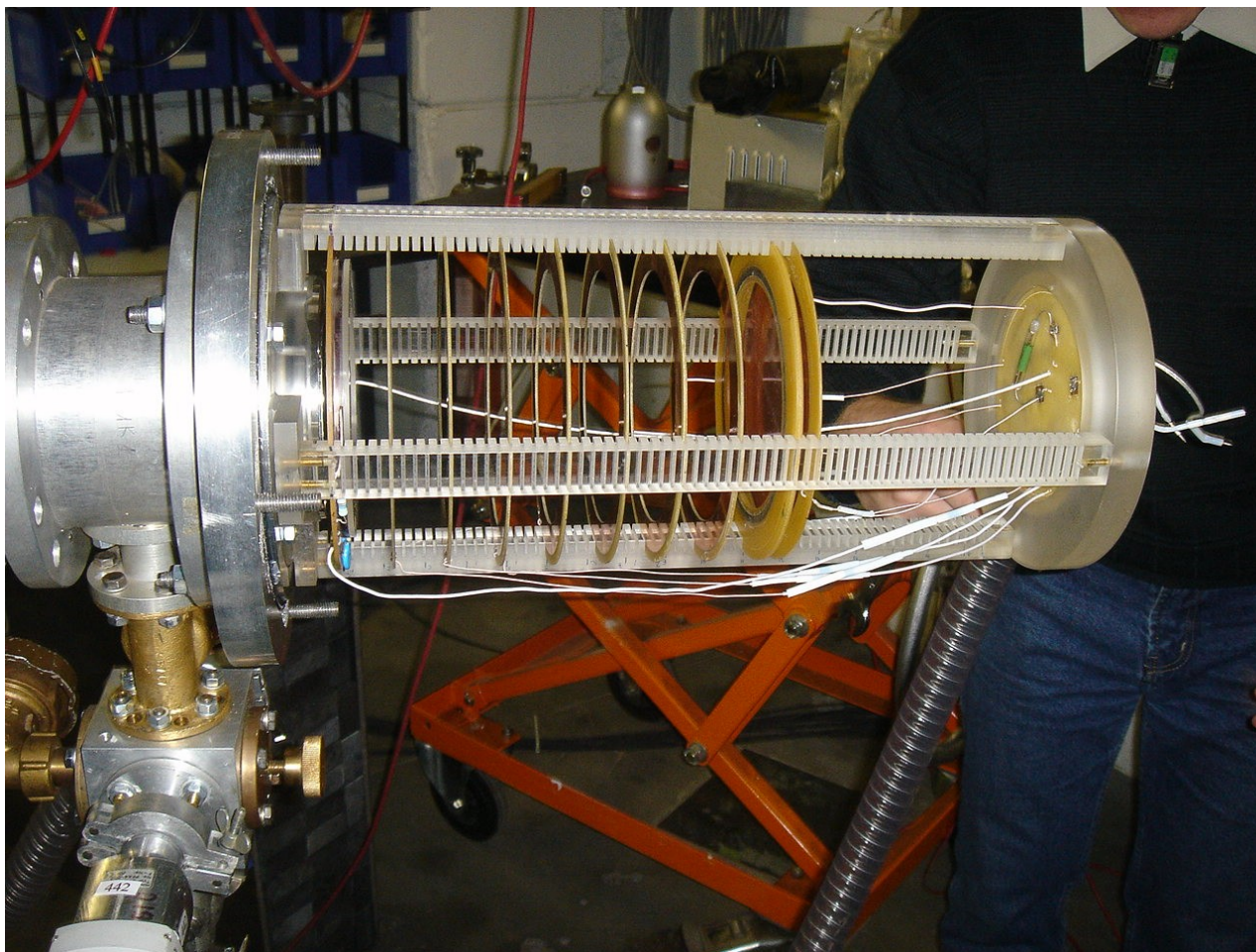


- Предназначен для измерения энергии и массы осколков деления.

Стартовый детектор



Камера Брэгга



Общий вид двухплечевого пролётного спектрометра

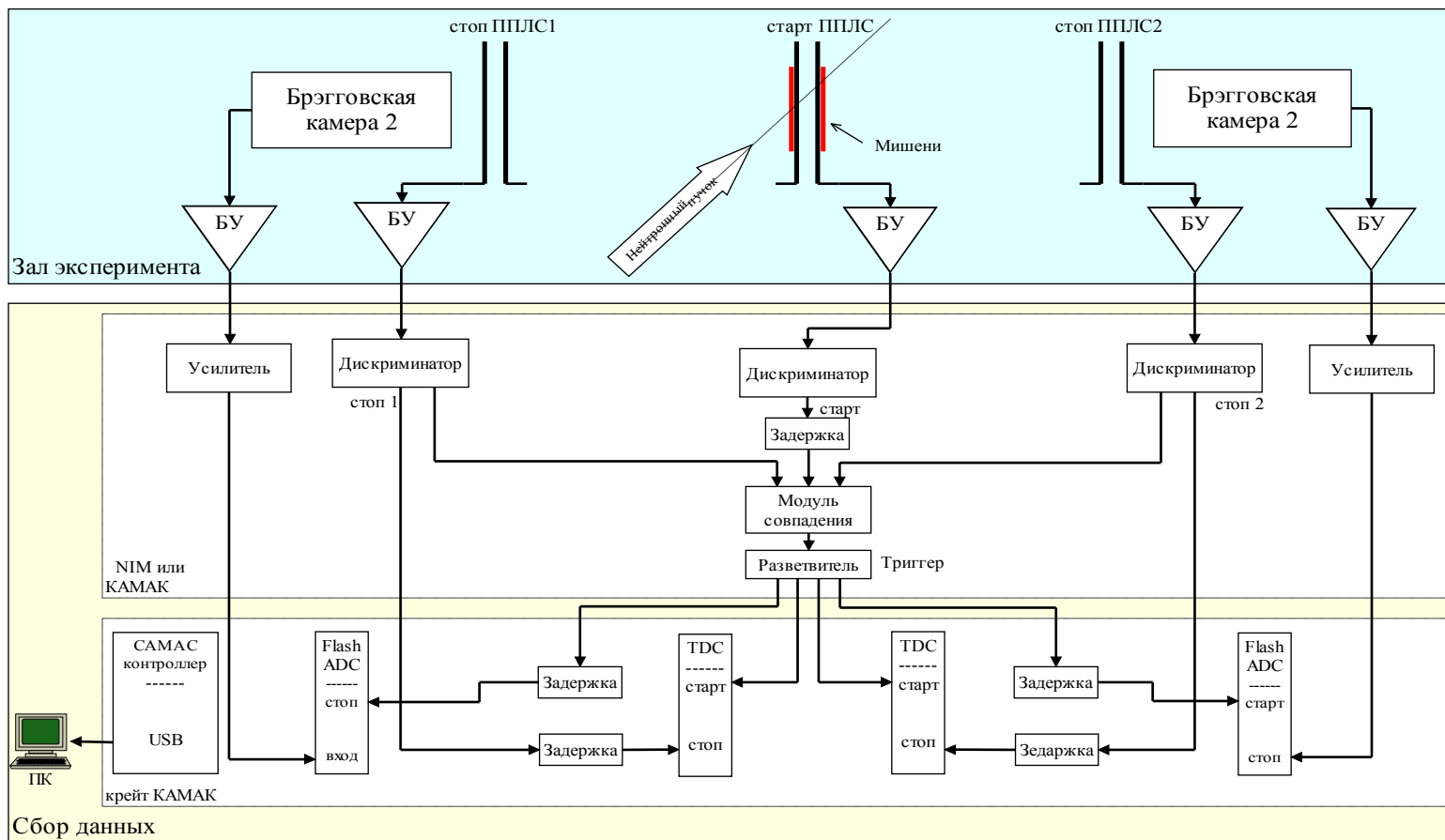


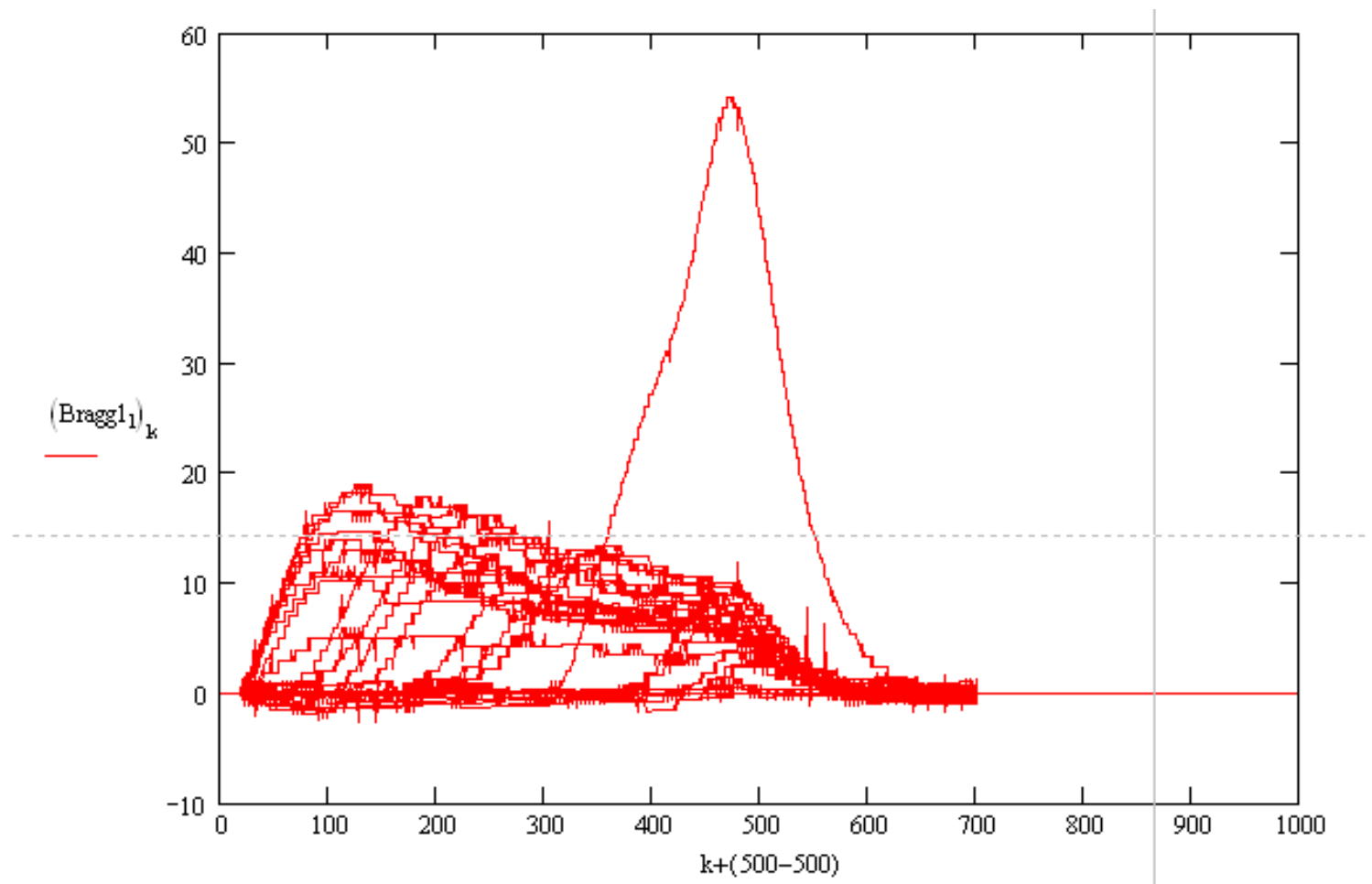
Схема эксперимента

И

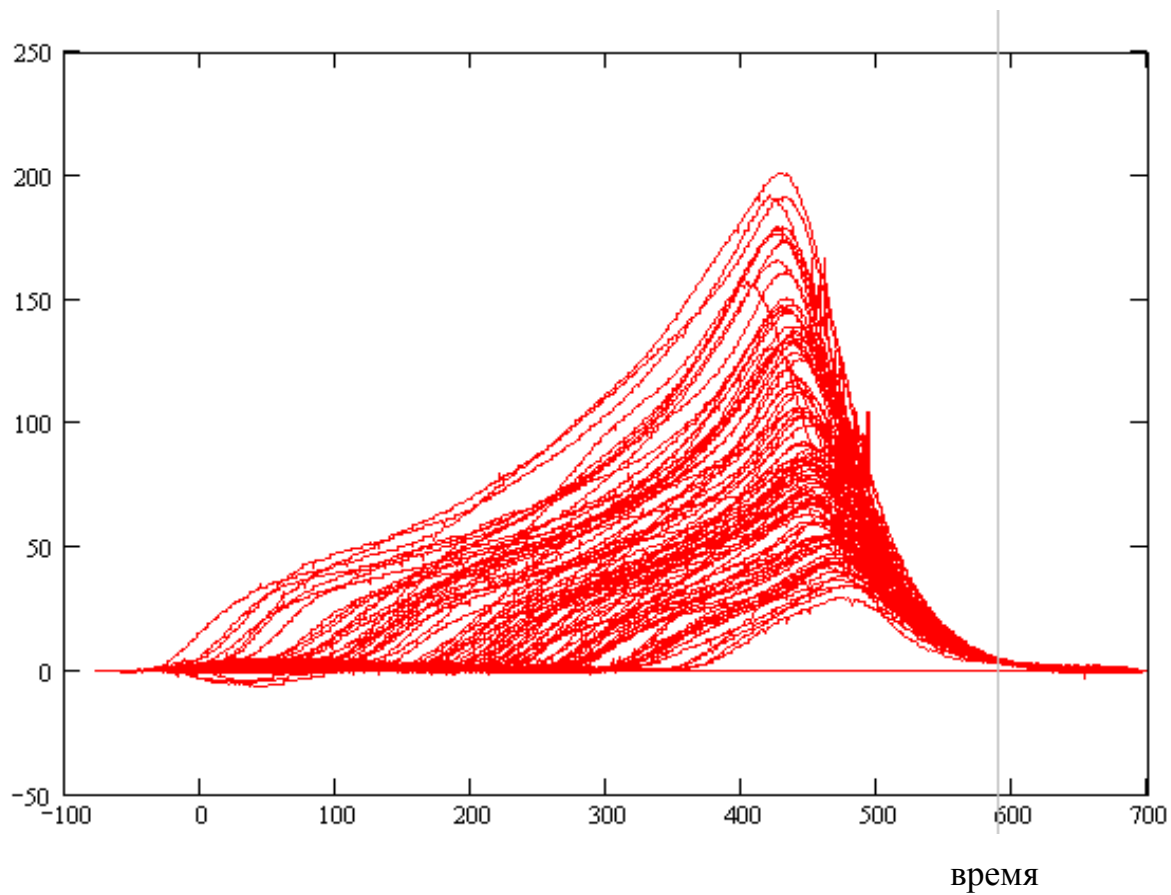
Блок-схема электроники

Схема эксперимента

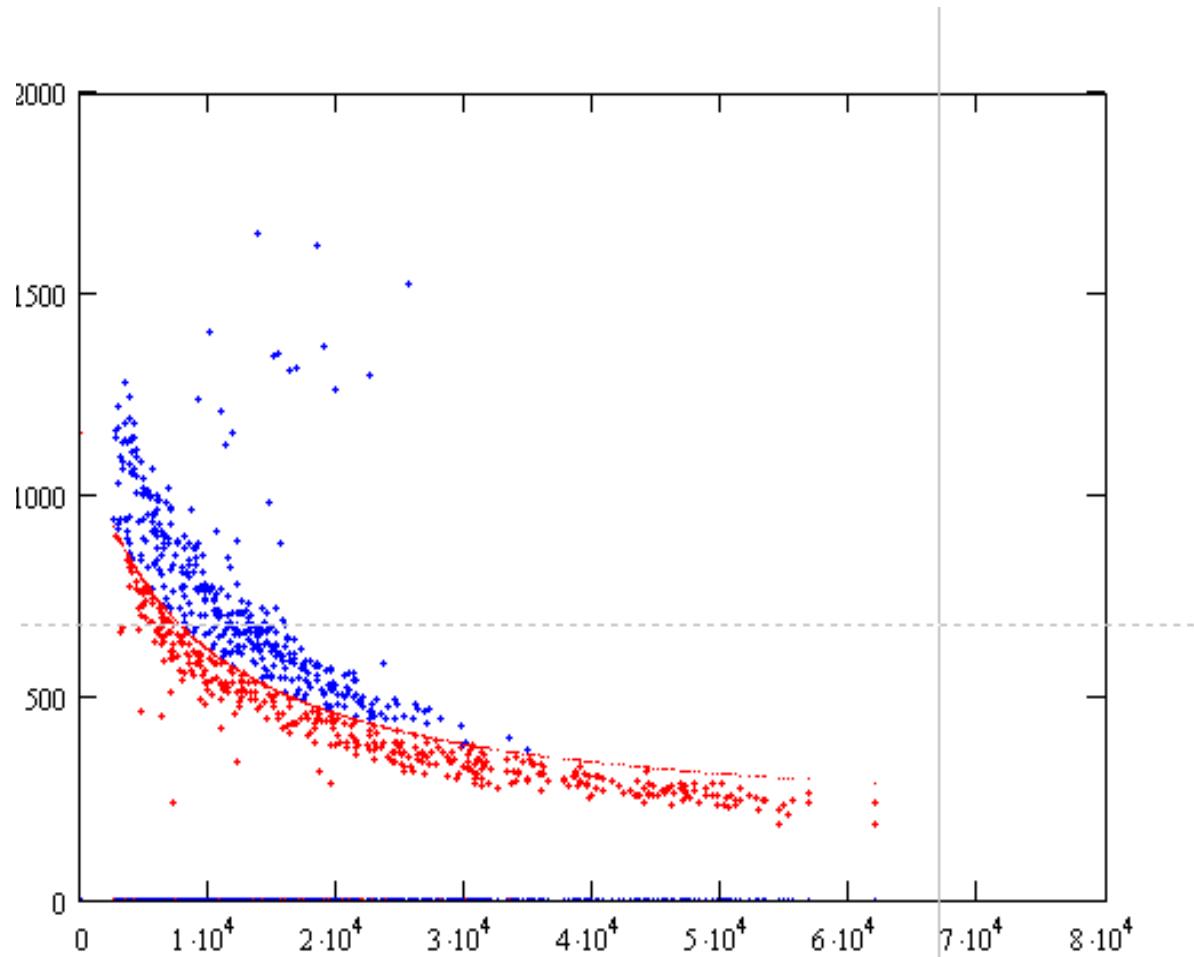




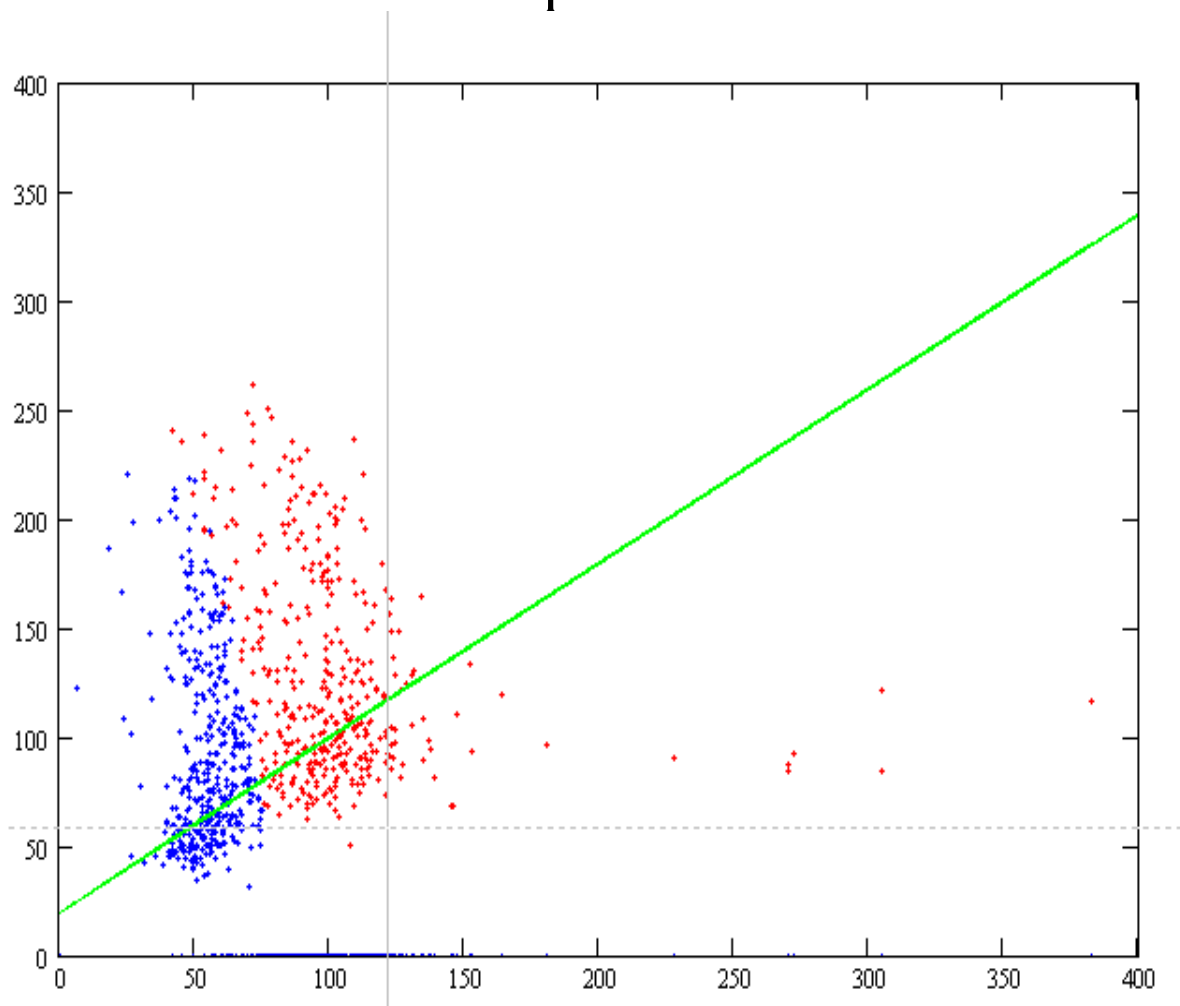
Форма импульсов с камер Брэгга



Двухмерное распределение событий, зарегистрированных камерами Брэгга

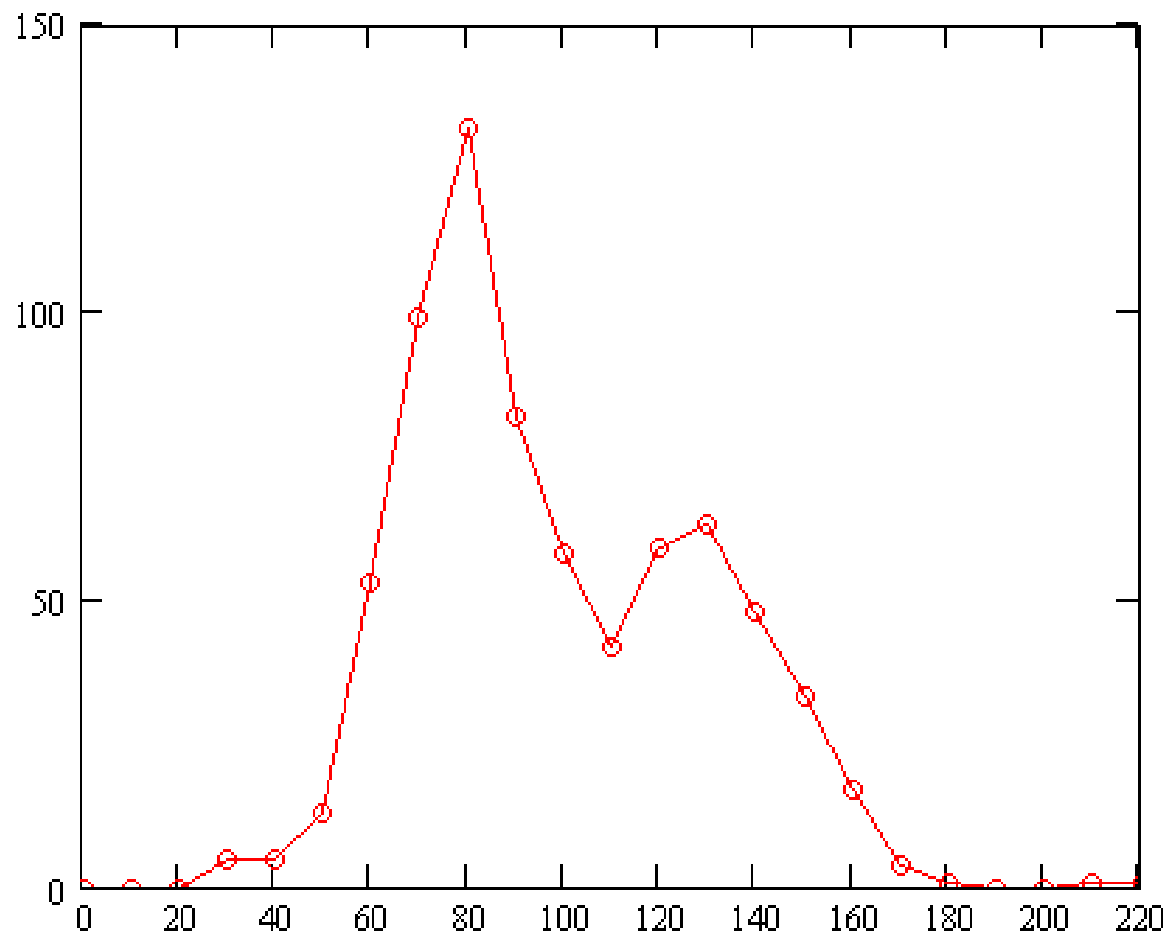


Двухмерное распределение событий, зарегистрированных камерами Бэгга



- X - масса осколков (а.е.м.)
- Y - параметр формы кривой Брэгга

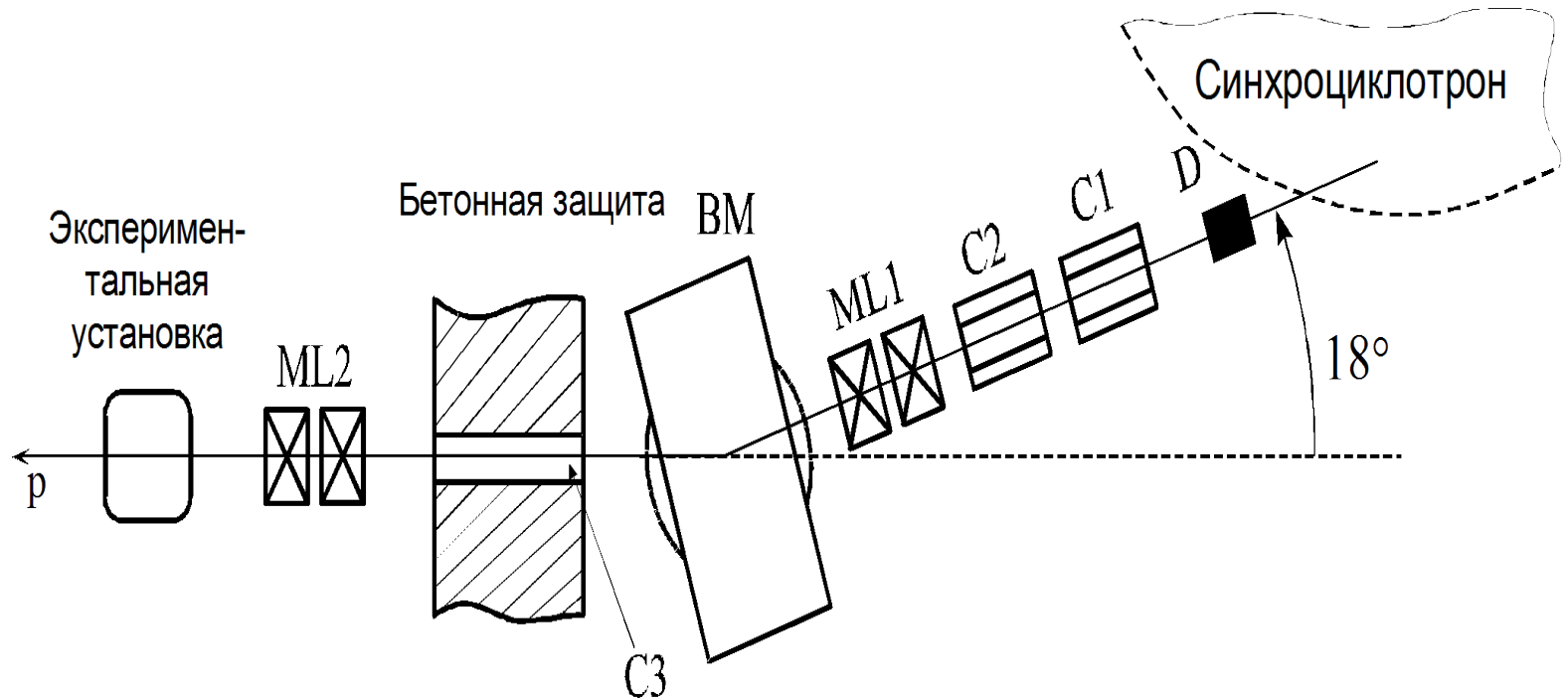
Массовое распределение осколков деления



Преимущества данной установки

1. Совмещение стартового детектора и мишени позволяет отказаться от использования отдельного "старт"-детектора, что дает возможность существенно уменьшить расстояние до конечного Брэгг-ППЛС детектора, не уменьшая времяпролетной базы, а также максимально минимизировать энергетические потери осколков на пути их регистрации.
2. Применение Брэгг-ППЛС детектора, принцип действия которого (в отличие от традиционных кремниевых детекторов) **позволяет создать детектор большой площади, что обеспечит большой телесный угол регистрации осколков и приемлемую скорость набора событий.**
3. Одновременное использование двух мишеней делящихся веществ позволяет существенно снизить время набора необходимой статистики при тех же затратах ускорительного времени.

Схема эксперимента



- D - медный поглотитель, BM - отклоняющий магнит, C1, C2 и C3 – коллиматоры, ML1, ML2 – дублеты квадрупольных линз

Характеристики протонного пучка

Интенсивность протонного пучка переменной энергии

(интенсивность пучка с $E_p=1000$ МэВ равна $3 \times 10^{12} \text{ с}^{-1}$)

E МэВ	P МэВ/с	Интенсивность пучка протонов, с^{-1}		
		1 дублет	2 дублета - А	2 дублета - Б
207	657	1.84 E7	4.02 E7	6.36 E7
301	810	4.62 E7	2.07 E8	2.49 E8
404	960	9.69 E7	2.37 E9	7.50 E8
505	1097	2.07 E8	9.03 E9	2.11 E9
612	1234	2.58 E8	3.09 E10	5.46 E9
702	1345	6.72 E8		1.41 E10
802	1466	1.00 E9		4.26 E10
899	1580	2.13 E9		1.77 E11

Параметры нейтронного пучка

НОМ	$E_n=450$ МэВ ($\Delta E_n \approx 100$ МэВ)		$E_n=900$ МэВ ($\Delta E_n \approx 100$ МэВ)		I_2
	σ_p		σ_p		
Be	σ_p Be	$19 \cdot 10^{-27}$	$20 \cdot 10^{-27}$	$3 \div 2 \cdot 10^5$	
Cu	σ_p Cu	$47 \cdot 10^{-27}$	$38 \cdot 10^{-27}$	$7 \div 5 \cdot 10^5$	