

Измерение распределения ионизационных потерь вдоль трека ядра отдачи Pb-210 с помощью матричного торцевого пропорционального счётчика.

Ю.М.Гаврилюк, А.М.Гангапшев, В.В.Казалов, В.В.Кузьминов, Р.А.Этезов
Институт Ядерных Исследований РАН, Москва

Общий вид МТПС

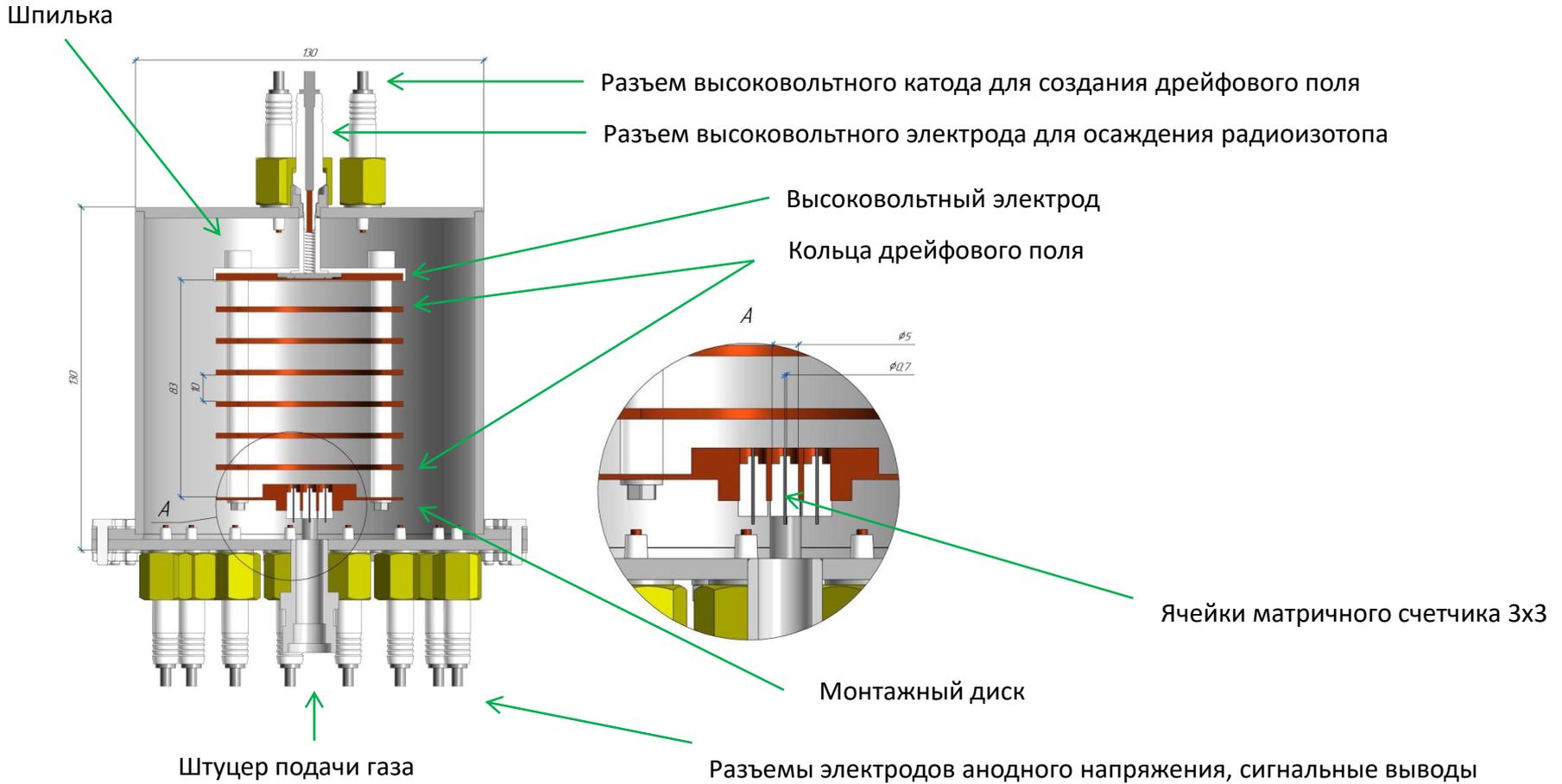


Представлены результаты измерений распределения ионизационных потерь вдоль трека ядра отдачи (^{210}Pb) с начальной энергией 146.5 кэВ от распада ^{214}Po . Измерения проводились с помощью многоячейстого матричного (3x3) торцевого пропорционального счётчика (МТПС).

Каждая ячейка является торцевым пропорциональным счётчиком $d=5$ мм с кольцевым анодом $d=0.7$ мм. МТПС был заполнен смесью 96% Ar+4% Хе при давлении 62 Торр. Ядра отдачи испускались с поверхности источника в центральной части дрейфового электрода. Источник формировался перед каждой серией измерений осаждением в электрическом поле дочерних продуктов распада ^{222}Rn из вспомогательного газа-носителя ксенона.

Калибровка осуществлялась по энерговыделениям α -частиц от того же источника на расстоянии между дрейфовым электродом и регистрирующей плоскостью. Определено, что амплитуда импульсов от ядер отдачи в пике спектра соответствует энергии 63.1 ± 2.9 кэВ.

Рис.1. МТПС.



Конструкция собрана на трёх параллельных шпильках-стойках, к которым крепятся плоские медные кольца (6 штук, $\text{Ø}73$ мм, d8 мм). Кольца равномерно распределены по длине стоек с шагом 10 мм и изолированы друг от друга и от металла стоек фторопластовыми изоляторами. Верхний по рисунку конец стоек закреплён на сплошном диске, являющимся высоковольтным электродом для создания дрейфового поля. Нижний конец стоек закреплён на сплошном монтажном диске с установленной обоймой матричных счётчиков. Кольца используются для создания однородности дрейфового поля на больших расстояниях от оси дрейфового промежутка. Для этого высоковольтный электрод, кольца и монтажный диск соединены между собой делителем напряжения, состоящим из 7 сопротивлений по 12 МОм каждое.

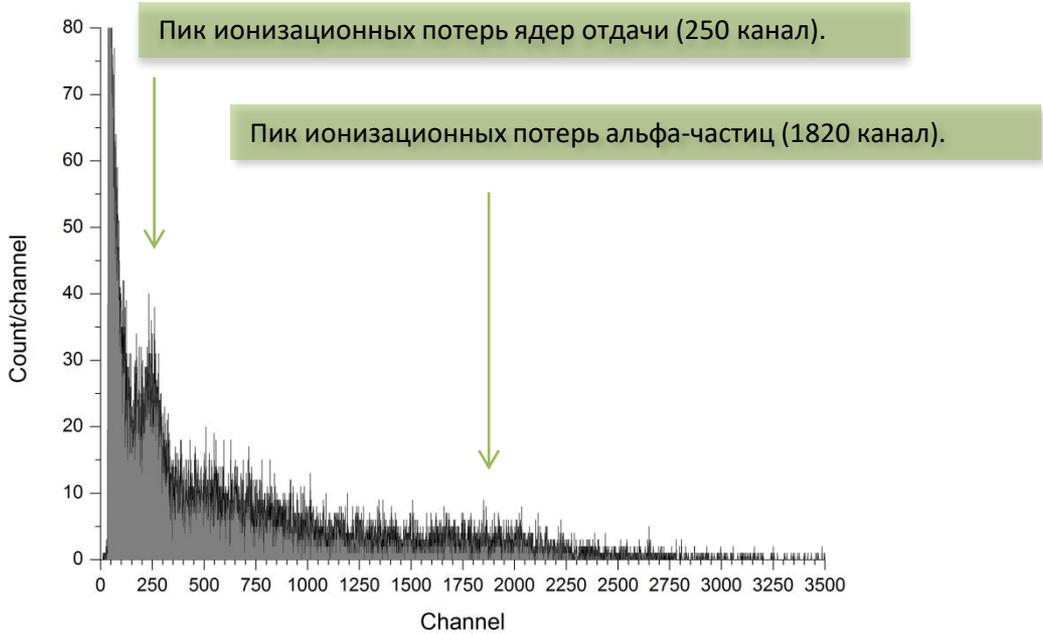
Для создания поверхностного источника ядер отдачи использована процедура осаждения электрическим полем заряженных дочерних продуктов распада ^{222}Rn из объёма газа-носителя, в качестве которого использован ксенон.

	^{222}Rn	^{218}Po	^{214}Pb	^{214}Bi	^{214}Po	^{210}Pb	^{210}Bi	^{210}Po
$T_{1/2}$	3,82 сут	3,05 мин	26,8 мин	19,9 мин	164,3 мкс	22,3 г	5,012 сут	138,38 сут
E_{α}	5,49 МэВ	6,00 МэВ			7,687 МэВ			
E_{bmax}			1,03 МэВ	3,26 МэВ		0,06 МэВ	1,16 МэВ	5,297 МэВ

Ближайший дочерний изотоп ^{218}Po рождается, в основном, положительно заряженным. Поэтому в электрическом поле его ионы оседают на отрицательный электрод. При распаде этого изотопа половина ядер отдачи в виде положительных ионов ^{214}Pb выйдет в газ, половина погрузится на разную глубину в стенку. Изотоп свинца под действием поля опять оседет на стенку. Это β -активный изотоп и его распад практически не влияет на расположение дочернего ядра ^{214}Bi . В течение (1.5 - 2.0) часов экспозиции состав дочерних ядер на поверхности стенки приходит в равновесие.

В качестве генератора радона использована проба песка весом 115 г, содержащего Ra-226. Песок засыпан в ловушку из нержавеющей стали, заполненную после вакуумирования ксеноном, в котором накапливается равновесный радон. Для осаждения источника ксенон с радоном вводится в предварительно откачанный счётчик. Осаждение источника происходит на центральный участок верхнего электрода при подаче на него отрицательного потенциала. Остальная часть диска и другие электроды при этом должны быть под потенциалом «земли». После достижения заданной экспозиции центральная часть диска с источником подключается к остальной части электрода для восстановления рабочей конфигурации потенциалов.

После осаждения источника ксенон собирается обратно в ловушку в результате её охлаждения жидким азотом. Счётчик быстро откачивается от остатков ксенона и заполняется рабочей смесью Ar (96.3%)+ Xe (3.7%) до давления 62 Торр. После откачки и заполнения счётчика рабочим газом производятся измерения. В качестве измерительного прибора использовался осциллограф LAN10_12USB. Частота оцифровки сигнала – 40 МГц, длина временного окна -102.4 мкс (4096 дискретов).

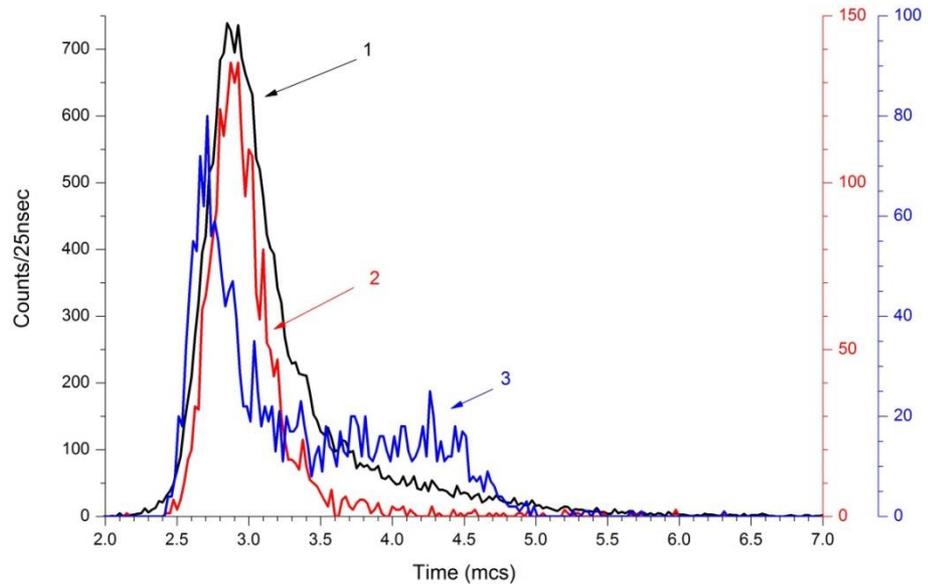


Ионизационные потери α -частиц с первичной энергией 7.687 МэВ на длине 78 мм в рабочем газе составляют 465 ± 23 кэВ.

Ионизационные потери ядер отдачи ^{210}Pb с первичной энергией 146.5 кэВ составляют 63.4 ± 5.2 кэВ.
В ионизацию уходит 43.3% первичной энергии ядра отдачи.

Рис.2. Амплитудный спектр импульсов от поверхностного α -сточника ^{222}Rn

Рис.3. Распределения длительностей фронта спектра амплитуд (график 2):
 1) полный спектр (левая шкала);
 2) интервал амплитуд 200 – 300 (правая шкала);
 3) интервал амплитуд 1560 – 2280 (правая шкала);



Информация о распределении ионизации вдоль трека содержится в форме тока электронов первичной ионизации. Для ее восстановления необходимо устранить из выходного импульса изменения, внесённые предусилителем и процессом газового разряда.

На рис.4 приведены исходный выходной импульс (1) з.ч.у. с амплитудой в 2200 канале из спектра график 2.

Импульс (2) представляет импульс (1), исправленный на саморазряд предусилителя. Исправление производится рекуррентным соотношением

$RePls(i) = RePls(i-1) + Pls(i) - Pls(i-1) * \exp(-1/tau)$, где $RePls$ – восстановленный импульс (2),

Pls – исходный импульс (1), tau – константа саморазряда з.ч.у, определяемая из исходного импульса (1)

Импульс (3) является дифференциалом импульса (2) и представляет форму импульса тока с выхода детектора.

Он сформирован как суперпозиция электронной и ионной составляющих заряда.

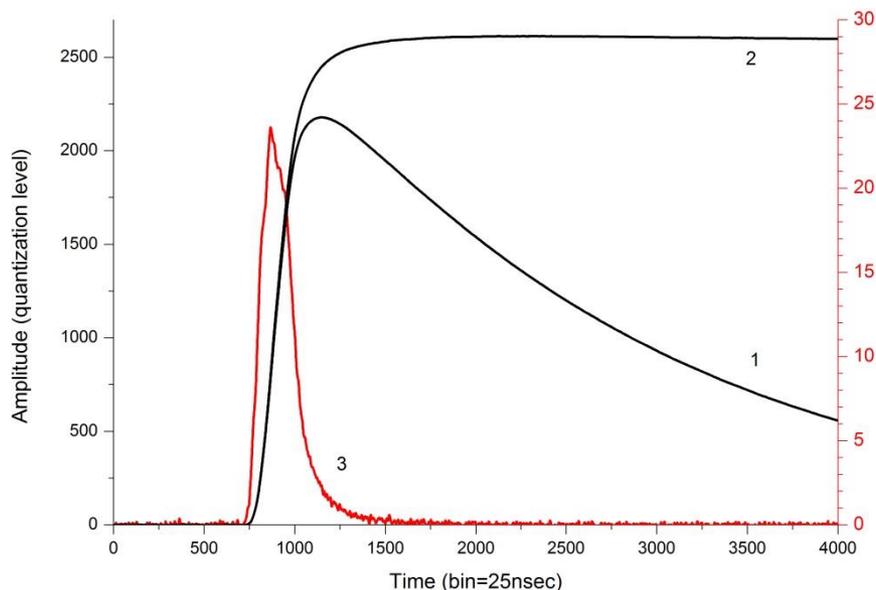


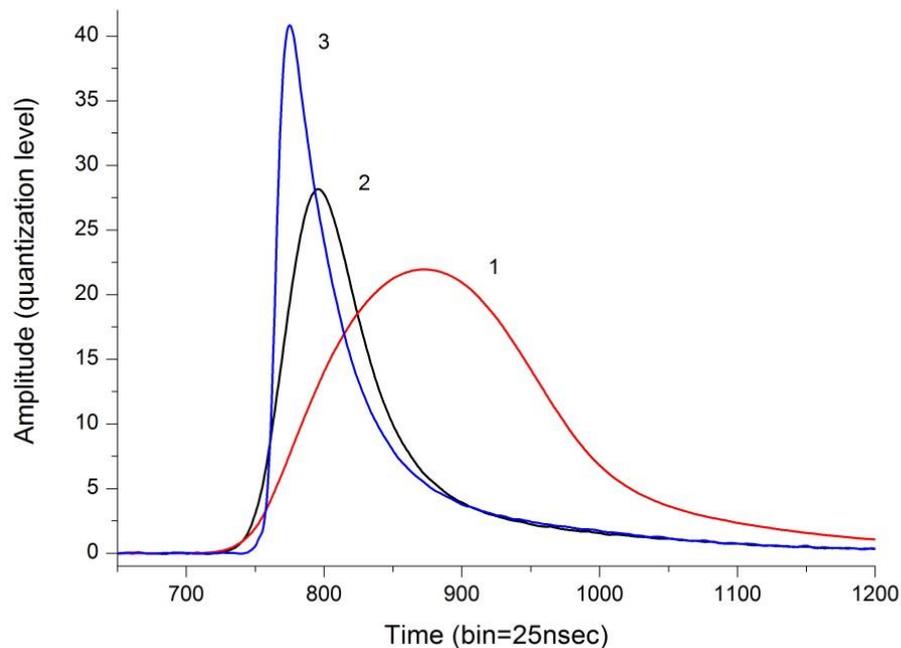
Рис.4. Вид формы импульса з.ч.у. с амплитудой в 2200 канале (см. рис.2) на разных этапах преобразования.

- (1) – исходный импульс (левая шкала);
- (2) – импульс, поправленный на саморазряд з.ч.у.;
- (3) – дифференциал импульса (2) (правая шкала).

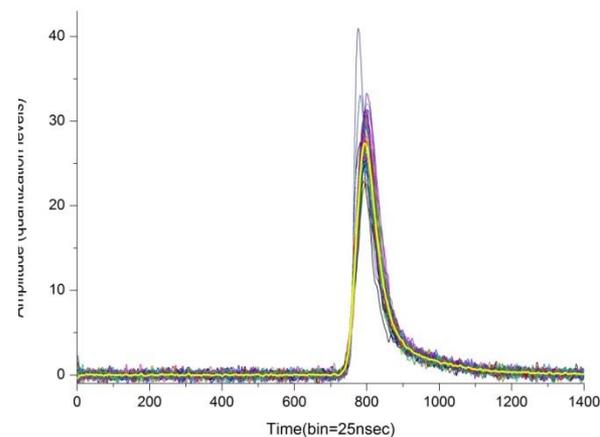
Восстановление формы тока электронов первичной ионизации осуществляется декомпозицией образцовым импульсом тока точечной первичной ионизации. В качестве образца использован усреднённый импульс из 30 с короткими фронтами 2.5 – 2.6 мкс распределения (2) рис.2. Образцы форм токов альфа-импульсов и ядер отдачи сформированы усреднением не менее, чем из 200 импульсов каждая форма (рис.5).

Рис.5. Дифференциалы усредненных импульсов, поправленных на саморазряд з.ч.у., используемых в процедуре декомпозиции.

- 1) - альфа (1560-2280 каналы, фронт 3.5-4.5 мкс);
- 2) - ядро отдачи (200-300 каналы, фронт 2.8-3.0 мкс);
- 3) - одноточечный импульс (фронт 2.5-2.6 мкс).



Пример получения усредненного дифференциала импульса



Процедура восстановления тока электронов (процедура декомпозиции) первичной ионизации начинается с совмещения начала образцового импульса с началом составного импульса. На заданном временном интервале в 200 нс (8 бин) подбирается с заданной точностью амплитуда образцового импульса в совпадении с участком фронта составного импульса. Подобранный импульс вычитается из раскладываемого импульса. Процедура повторяется до тех пор, пока остаток не уменьшится до заданного предела. В итоге операции образуется набор амплитуд вычитаемых импульсов и интервалов сдвига начала.

Каждая вычитаемая амплитуда рассматривается как отклик счётчика на заряд электронов первичной ионизации, накопленный за интервал 200 нс.

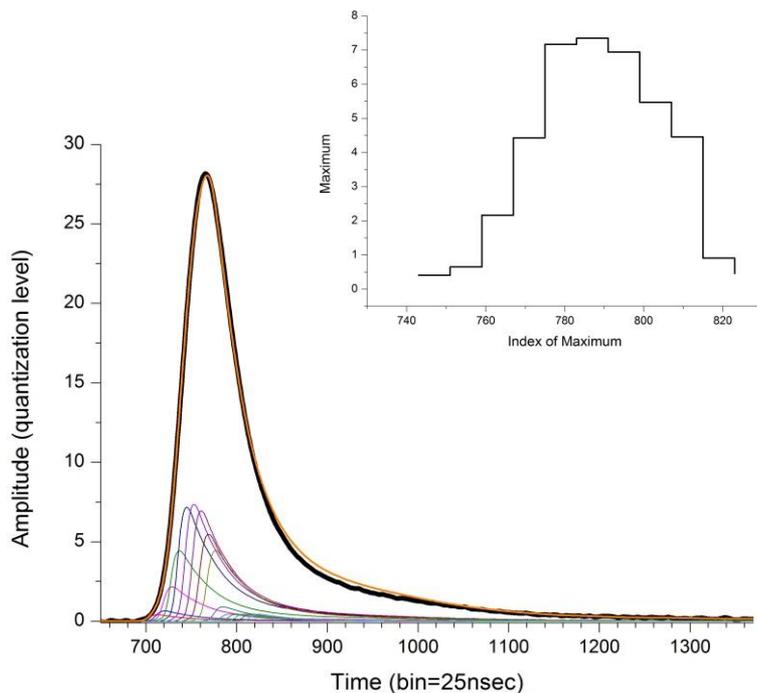


Рис.6. Декомпозиция формы тока импульса ядра отдачи из форм токов импульсов однократных событий.

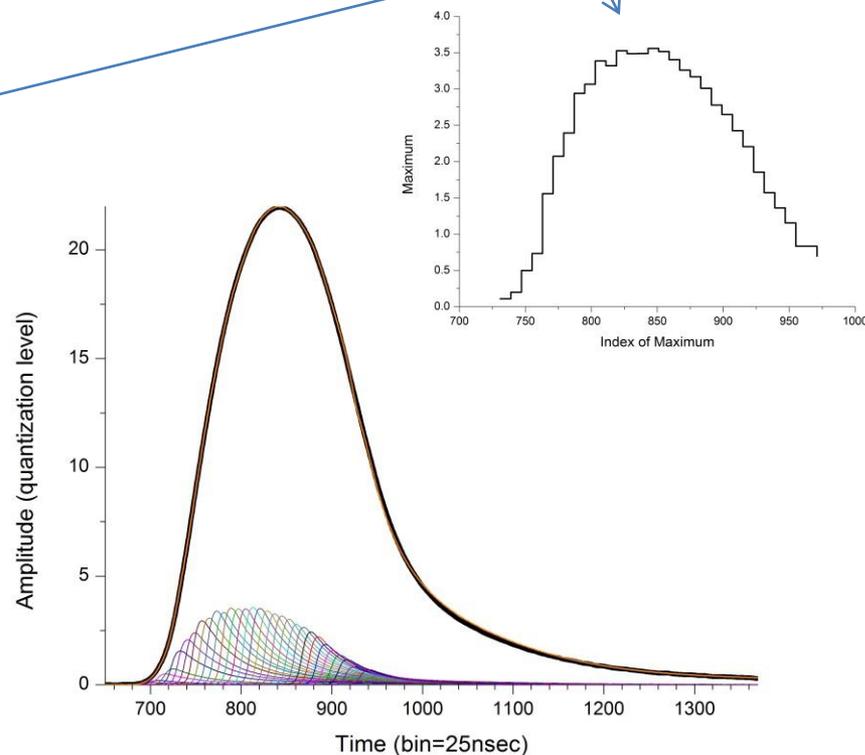


Рис.7. Декомпозиция формы тока альфа-импульса из форм токов импульсов однократных событий.

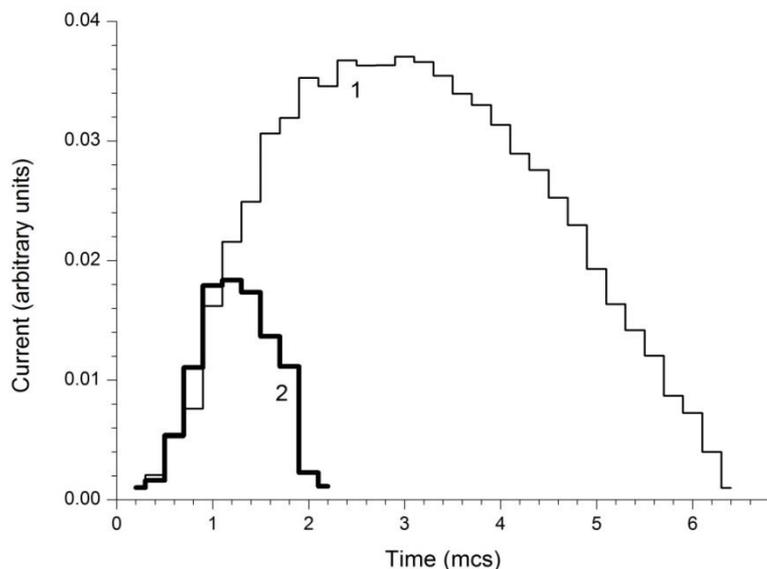


Рис.8. Распределение тока электронов первичной ионизации по длине трека (относительные единицы):

- 1) - трек α -частицы длиной 78 мм;
- 2) - трек ядра отдачи длиной ~25 мм.

Отношение амплитуды к интервалу даст средний за это время ток в относительных единицах. Полное количество точек описывает распределение тока по времени или, после нормировки, распределение плотности ионизации по длине трека.

На рис.8 представлены полученные таким образом формы импульсов тока электронов первичной ионизации от треков α -частиц (1) и ядер отдачи (2) для одинакового коэффициента усиления. Площадь импульсов соответствует полному заряду электронов первичной ионизации, выделившемуся на треке.

Длительности импульсов (6.2 мкс α -частица и 2.0 мкс ядро отдачи) соответствуют времени собирания электронов из треков или, при постоянной скорости дрейфа, соответствует длине треков. Поскольку длина трека α -частиц равна 7.8 см, длина трека ядра отдачи составляет $7.8 \cdot (2.0/6.2) = 2.52$ см, если трек прямолинеен.

Тогда средние энергетические потери ядра отдачи в ионизацию на единице длины в смеси Ag (96.3%)+ Xe (3.7%) при давлении 62 Торр составляют $(63.4 \pm 5.2 \text{ кэВ})/2.52 \text{ см} = (25.2 \pm 2.1) \text{ кэВ} \cdot \text{см}^{-1}$. Их можно сравнить со средними энергетическими потерями α -частицы, вычисленными таким же образом $(465 \pm 23 \text{ кэВ})/7.8 \text{ см} = (59.6 \pm 2.9) \text{ кэВ} \cdot \text{см}^{-1}$.