

# Метод фотоэмульсий в физике атомного ядра и частиц.

## Задача №1.

### Восстановление топологии события в элементе эмульсионного детектора эксперимента по поиску осцилляций нетрино OPERA.

## Оглавление

<b>1. ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>2</b>
1.1. Современный эмульсионный детектор.	2
1.2. Характеристики фотоэмульсий.	7
<b>2. ПРОЦЕДУРЫ СКАНИРОВАНИЯ ЭМУЛЬСИЙ</b>	<b>9</b>
2.1. Процедура проверки предсказаний в CS.	12
2.2. Процедура «Сканирование Назад» – к вершине взаимодействия, поиск треков (Scan-Back – Track Follow.)	12
2.3. Процедура «Сканирование объёма» – (Total Scan).	13
2.4. Процедура «Восстановления геометрии события».	13
2.5. Процедура «Сканирование Вперед» (Scan-Forth – Track Follow)	15
<b>3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАРТИНЫ СОБЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SYSAL.</b>	<b>17</b>
3.1. Основное окно.	17
3.2. Окна Display и DisplayPanel.	20
3.2.1. Панель Selection	20
<b>4. ЗАДАНИЕ № 1. ПРОСЛЕЖИВАНИЕ ТРЕКОВ ОТ CS ДО ВОЗМОЖНОЙ ВЕРШИНЫ В КИРПИЧЕ.</b>	<b>26</b>

# 1. Введение

Эмульсионный детектор – развитие классических трековых детекторов (камера Вильсона, пузырьковая камера, искровые камеры). Основным отличием эмульсионных детекторов является их непрерывное время накопления данных, в связи с чем они не могут работать «в пучке», но идеально подходят для регистрации редких событий. Что делает данный метод крайне полезным в физике космических лучей, где был широко развит метод рентгеновских эмульсий (эксперименты Памир, RUNJOB и пр.), нейтринной физике.

Основой трековых методик является восстановление свойств частиц и кинематики процессов из геометрии событий и геометрических свойств треков частиц. Методы определения энергий, импульсов и масс частиц будут рассмотрены подробно в Задаче №2. Задача №1 посвящена восстановлению топологии событий с помощью эмульсионного детектора.

Точность восстановления геометрии событий определяет «разрешающую способность» метода. Чем точнее метод позволяет восстановить геометрию событий, тем более тонкие эффекты доступны для исследования и тем больше короткоживущих частиц может быть эффективно зарегистрировано.

В некоторых современных физических экспериментах по изучению свойств частиц и взаимодействий необходимо с большой точностью восстанавливать картину взаимодействия частицы с мишенью: определять координаты точки взаимодействия, углы разлета вторичных частиц, их тип и энергию. Примером такого эксперимента может служить эксперимент по прямому наблюдению осцилляций нейтрино по каналу  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  и прямому измерению параметров смешивания - OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus). В этом эксперименте нейтрино, генерируемые в распадах заряженных пионов, полученных на ускорителе LHC, проходят расстояние 748 км в грунте. Как показывают теоретические оценки [1], на этой базе вероятность  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  осцилляций максимальна. В дальнейшем часть нейтрино пучка взаимодействуют в эмульсионном трековом детекторе. Частицы, родившиеся в таких взаимодействиях, регистрируются с помощью ядерных эмульсий — основного элемента детектора. Задачей эксперимента является обнаружение нейтрино другого аромата, отличного от того, который испускает источник, по специфической геометрии распада частиц, родившихся при взаимодействии нейтрино с веществом детектора.

## 1.1. Современный эмульсионный детектор.

Современный эмульсионный детектор – представляет собой сложную систему детекторов, направленную на максимально точную регистрацию полезных событий и подавление фоновых событий. При работе в условиях низкого фона (а под фоном подразумеваются, в том числе, все события, не входящие в круг интересов данного эксперимента), эмульсионный детектор чаще всего представляет собой камеру, в которой эмульсионные слои перемежаются слоями поглотителя (свинец, железо, алюминий, углерод - в зависимости от целей и задач детектора). Детекторы, направленные в первую очередь на регистрацию редких событий в рамках высокого фона, существенно сложнее. Для выделения полезных событий на фоне большого количества фоновых событий существует несколько методов.

Одним из таких методов уменьшения фонового сигнала является метод снижения времени экспозиции. Т.к. процесс проявки фактически лишает эмульсию чувствительности, то для сохранения эффективности детектора при минимальном фоне необходимо проявлять эмульсию сразу после регистрации в ней полезного события. Для этого эмульсионную часть детектора окружают сцинтилляционными детекторами, регистрирующими заряженную и электромагнитную часть продуктов реакции. По данным этих детекторов возможно выделение некоторого объема в эмульсии, в котором произошло полезное событие.

Для минимального снижения чувствительной массы детектора, необходимо как-то разделить эмульсию на небольшие участки, которые можно отдельно проявлять. Поэтому большая часть подобных детекторов состоит из отдельных небольших блоков. В детекторах с низким фоном такие блоки обычно не выделяются.

Детектор эксперимента OPERA [2], расположенный в подземной лаборатории Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) на глубине 2 км, состоит из двух модулей. Каждый модуль состоит из мишенного блока и мюонного спектрометра, Рис.1. Каждый мишенный блок представляет собой 26 стенок, состоящих из эмульсионных блоков, за каждой из которых находится панель из сцинтилляционных

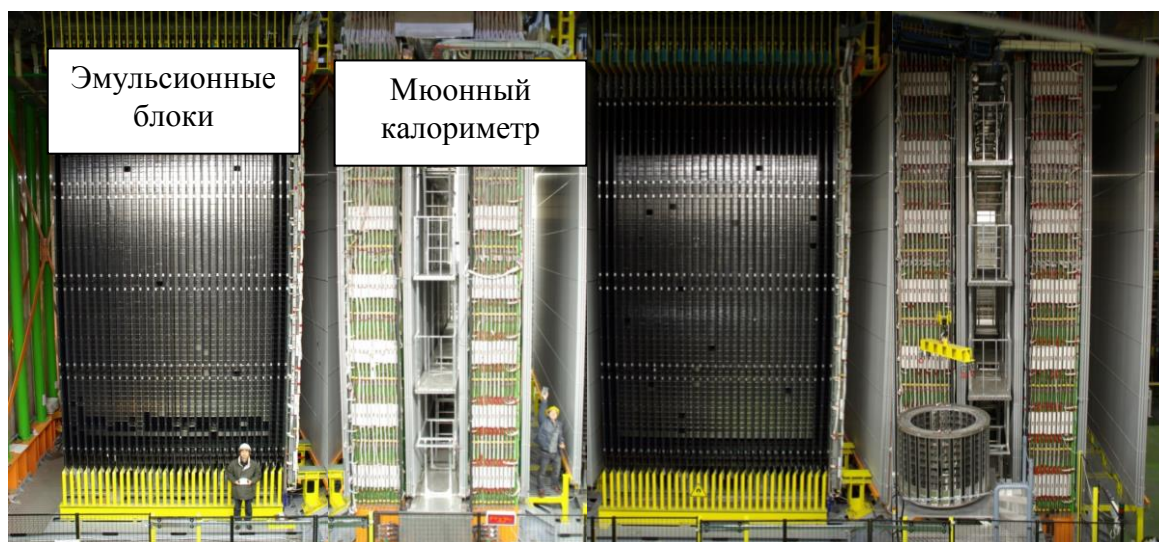


Рис.1. Общий вид детектора OPERA , фотография.

детекторов (Electronic Target Tracker (ETT)). Сцинтилляционные детекторы предназначены для указания на тот блок, где, возможно, имело место взаимодействие нейтрино.

В детекторе OPERA используются эмульсионные камеры – «кирпичи» (OPERA Brick, 10.2 см×12.7 см, толщиной ~ 7.5 см и массой 8.3 кг), состоящие из эмульсионных пластин, прослоенных слоями свинца толщиной 1 мм. Эмульсионная пластина представляет собой пластиковую основу толщиной 205 мкм, с нанесенными на нее с двух сторон слоями фотоэмульсии, толщиной 43 мкм каждый. Строго говоря, из-за особенностей процесса наклеивания эмульсии, каждый эмульсионный слой состоит из двух слоёв по 22 мкм с 1 мкм клеящего слоя между ними. Однако в силу малой толщины этого слоя, его существование никак не сказывается на качестве эмульсии и в дальнейшем не учитывается. Такой детектор способен регистрировать объемную картину событий - процессов взаимодействия частиц с веществом детектора.

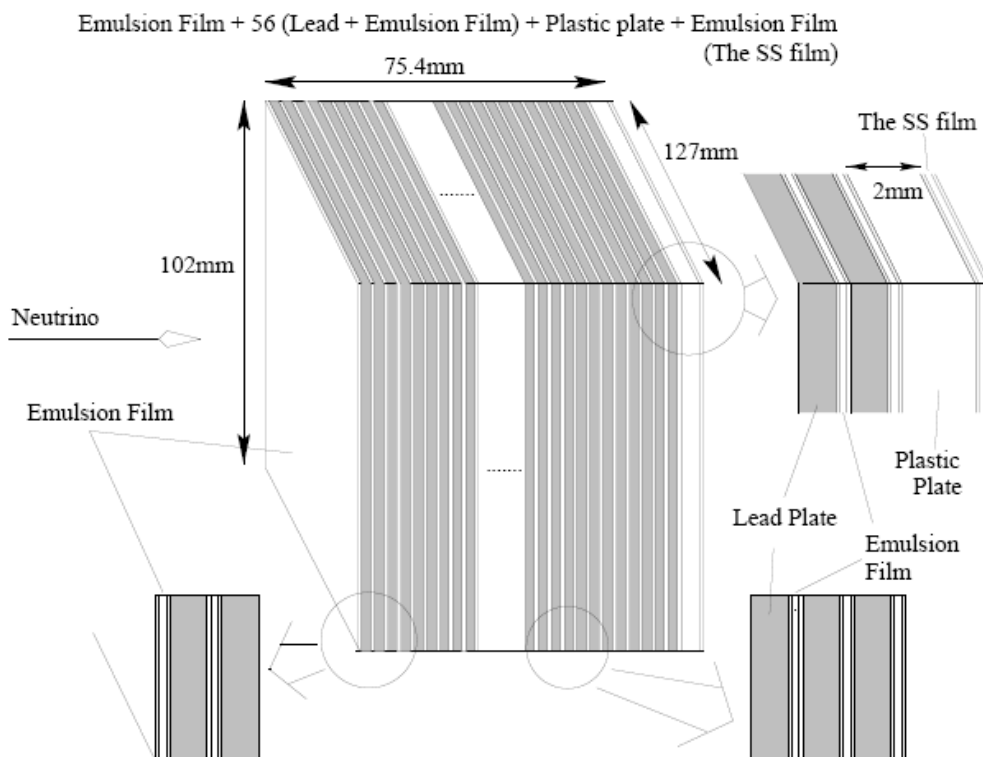


Рис.2. Схема эмульсионного блока эксперимента OPERA.

В течение времени экспозиции, а отдельные кирпичи стоят в детекторе с момента запуска пучка в 2009 году, ядерная эмульсия регистрирует все заряженные частицы, проходящие через нее. После проявления эмульсий анализу доступны около 100 независимых измерений направлений (углов) участков трека в двух проекциях. Участки трека регистрируются в 57 двусторонних пластинах. Подробная схема «эмульсионного кирпича» приведена на Рис. 2.

Благодаря высокому пространственному разрешению (около 0.3 мкм) метод ядерных эмульсий с успехом применяется для определения углов разлета частиц и ядер, образующихся в результате взаимодействия. По точности измерения малых углов метод ядерных эмульсий не имеет себе равных (до  $10^{-5}$  рад). В эксперименте OPERA достаточной является точность 5 мрад. Так же, данный метод позволяет проследить отдельные треки в кирпиче даже при очень высоком фоне.

Каждый кирпич, в котором произошло взаимодействие, извлекается из детектора, разбирается, эмульсия проявляется, сканируется и анализируется, в то время как остальные продолжают набор данных. Для такого режима работы важно точно определить кирпич, в котором произошло нейтринное взаимодействие, так как извлечение каждого кирпича означает уменьшение массы детектора. Поэтому для первоначальной проверки к кирпичу с одной стороны добавляются еще две эмульсионные плоскости (т. н. Changeable Sheet, CS), которые можно отсканировать не разбирая кирпич. Если CS содержит в эмульсии адронные треки, каждый из которых прослеживается в 3-х слоях эмульсии из 4-х (на двух пластинах SC нанесены 4 эмульсионных слоя), или трек мюона (те же условия на количество найденных в SC треках), с углами, совпадающими с данными электронных детекторов, то кирпич разбирается, эмульсия проявляется и сканируется. Если нет - значит целеуказание электронных детекторов оказалось ошибочным, CS заменяют на новый и возвращают кирпич в детектор.

Существенным недостатком эмульсионного метода до настоящего времени являлась невысокая скорость обработки данных. Эксперименты с рентгеновскими эмульсиями обрабатывались вручную на всех этапах, от поиска треков в эмульсии под микроскопом, до измерения их параметров. Современные сканирующие комплексы решают проблему обработки эмульсий. В эксперименте OPERA все процессы, связанные с обработкой данных эмульсионных детекторов автоматизированы. Автоматизированы, в том числе, и процессы сборки эмульсионных детекторов (кирпичей), извлечение их из стены детектора.

Сканирующие микроскопы, Рис. 3, в автоматическом режиме сканируют каждую из 57 эмульсионных пластин, создавая банк треков, по которому в дальнейшем восстанавливается картина события. Строго говоря, автоматический режим возможен только в идеале, на самом деле, процесс сканирования эмульсий почти всегда требует творческого участия оператора.

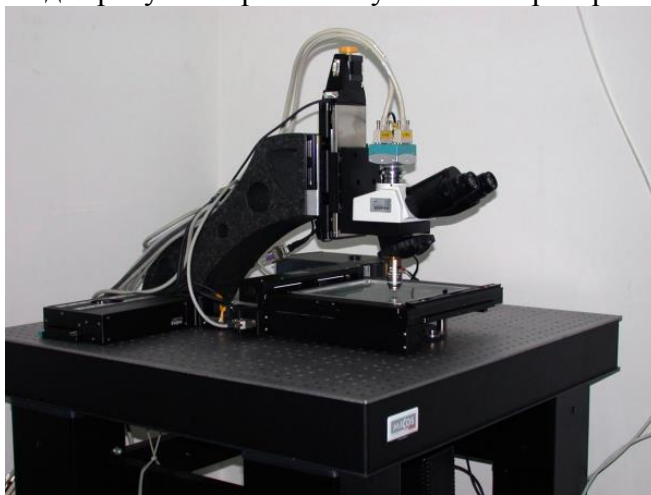


Рис.3. Сканирующий микроскоп в НИИЯФ МГУ.

## 1.2. Характеристики фотоэмульсий.

Толстослойные ядерные эмульсии отличаются от эмульсий, используемых в обычной фотографии, толщиной эмульсионного слоя, концентрацией коллоидного серебра и желатина, и размером зерен. Слои ядерных эмульсий в 10 – 100 раз толще, а содержание коллоидного серебра в них на порядок больше обычного. Коллоидное серебро (в основном бромистое) находится в эмульсии в виде микрокристаллов, размеры которых колеблются от 0.03 до 0.6 мкм. Так, средние размеры микрокристаллов в эмульсии Кодак NT-4 – 0.4 мкм, НИКФИ-Р – 0.28 мкм, Ильфорд-G5 – 0.27 мкм.

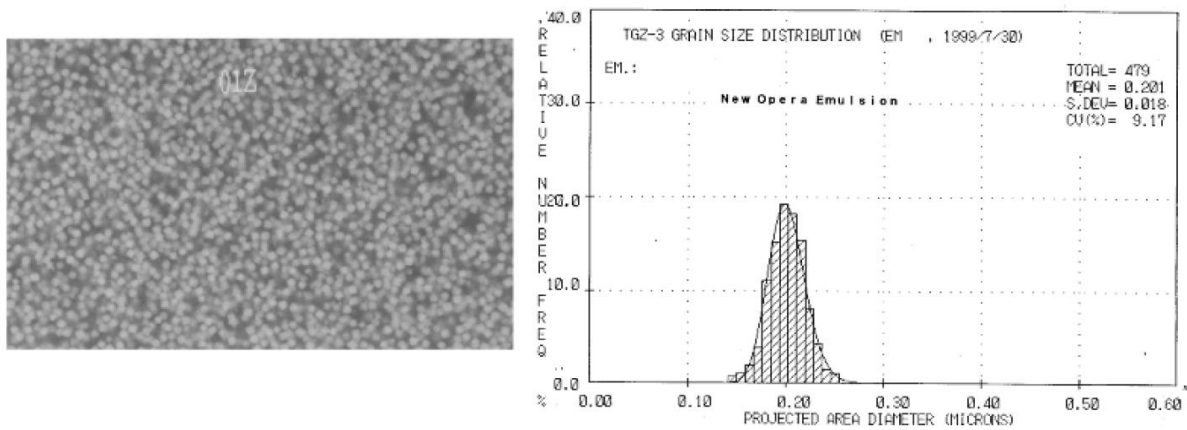


Рис. 4. Слева: микрофотография распределения кристаллов в эмульсионном слое. Микрористаллы видны в виде белых зерен. Справа: распределение кристаллов по размеру. Среднее значение распределения соответствует величине 0.2 мкм. Количество зерен составляет, в среднем, 30-36 на 100 мкм.

Размеры кристаллов в эмульсии FUJI, применяемой в эксперименте OPERA, распределены по нормальному закону со средней величиной 0.2 мкм, Рис. 4.

В состав эмульсии кроме коллоидного серебра входят желатин, пластификатор, вода. Желатин и пластификатор содержат водород, углерод, кислород, азот, серу. Пластификатор используется для уменьшения хрупкости эмульсии. Таким образом, можно сказать, что каждая эмульсионная пластина содержит  $10^{13}$  детекторов размером 0.2 мкм каждый (кристаллов AgBr) с эффективностью регистрации частиц 0.16 на 1 сечение кристалла, Рис.5.

Физические свойства эмульсии эксперимента OPERA следующие:

- плотность эмульсии  $\rho = 2.4 \text{ г/см}^3$ ,
- средний атомный номер  $\langle A \rangle = 18.2$ ,
- средний заряд ядер атомов  $\langle Z \rangle = 8.9$ ,
- радиационная длина  $X_0 = 5.5 \text{ см}$ ,
- $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{mip}} = 1.55 \frac{\text{МэВ}}{\text{г/см}^2}$  или  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{mip}} = 37 \frac{\text{кэВ}}{100 \text{ мкм}}$ ,
- длина для ядерного столкновения  $\lambda_c = 33 \text{ см}$ ,
- длина ядерного взаимодействия  $\lambda_I = 51 \text{ см}$ ,

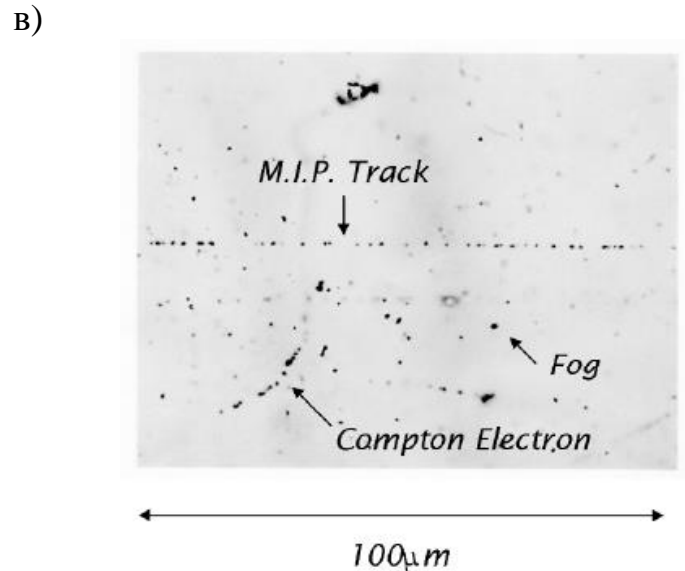
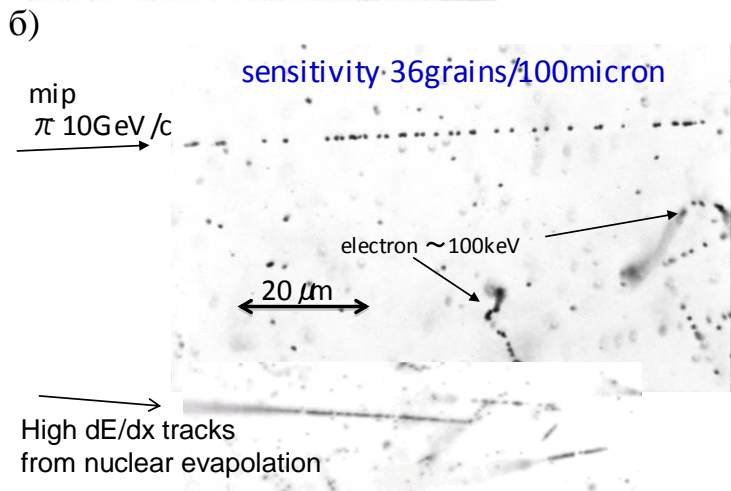
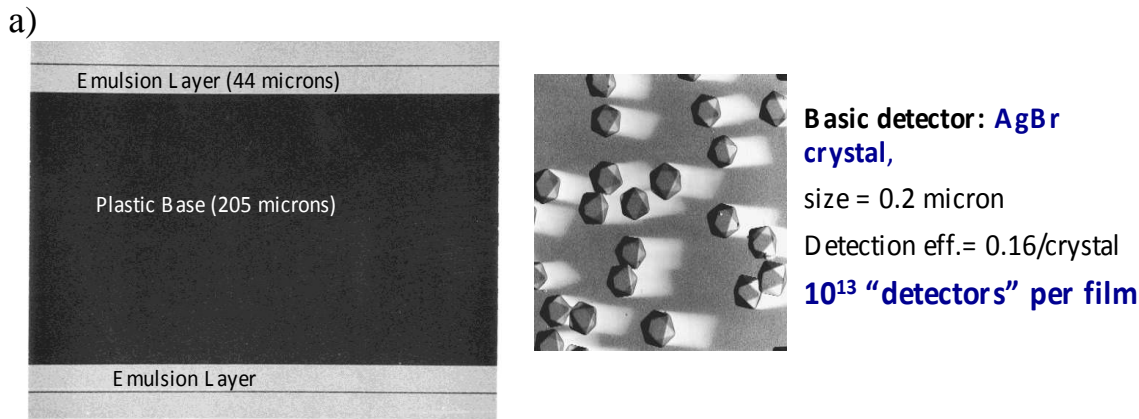


Рис.5. а) Схема эмульсионной пластины и кристаллов Ag Br в желатине. б) Следы частиц (треки) в эмульсии, (mip – minimum ionizing particle). в) Участок трека минимально ионизирующей частицы (mip) в эмульсионном слое. На изображении присутствуют трек комптоновского электрона и зерна тумана. Плотность зерен тумана рассчитывается для  $1000 \text{ мкм}^3$ .

Ядерные эмульсии используются для регистрации и анализа следов заряженных частиц практически любой энергии. На Рис. 5 в) приведено изображение участка траектории частицы с минимальной, для данной эмульсии, ионизирующей способностью. Можно оценить количество темных зерен на участке трека в  $100 \text{ мкм}$ . Оно составляет около 30. Это количество соответствует количеству зерен эмульсии – 30 зерен/ $100 \text{ мкм}$ .

При автоматическом сканировании эмульсионного слоя по площади и по глубине система в каждом кадре идентифицирует группы зёрен (поиск пятен на изображении), и определяет их координаты. В дальнейшем, через эти группы проводятся микротреки (с ограничением на минимальное количество зёрен на микротреке и на максимальный угол микротрека) Рис. 6(а). Микротреки в слоях связываются в базовые треки (base tracks), с ограничением на 1) максимальное расстояние между прямыми, проведенными через микротреки, в  $1 \text{ мкм}$ , и на 2) различие в углах в пределах  $50 \text{ мрад}$  (частицы с большим рассеянием являются частицами низких энергий и интереса с точки зрения данного эксперимента не представляют), Рис.6 (б).

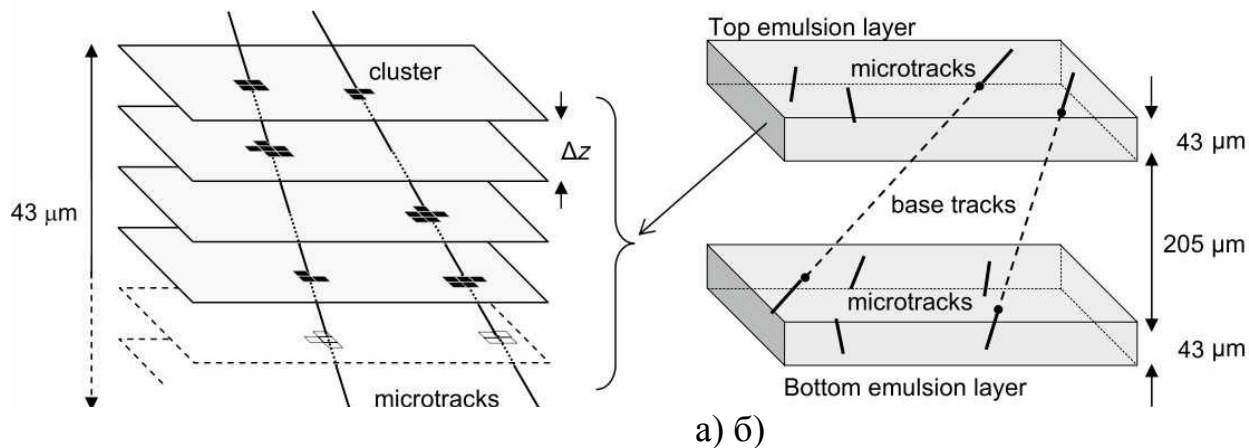


Рис. 6 (а, б). Реконструкция микротреков и базовых треков.

Такая процедура реконструкции треков частиц значительно улучшает соотношение сигнал-шум (связывание микротреков в базовые треки снижает шум примерно в  $10^3 - 10^5$  раз) и повышает точность восстановления углов треков (направлений частиц), минимизируя эффекты дисторсии (искривления эмульсии).

Результатом работы сканирующего комплекса и программ обработки является трехмерная схема события, Рис.7. Разработанные методы позволяют вычислить энергии, и импульсы частиц, а также определить тип [3,4].

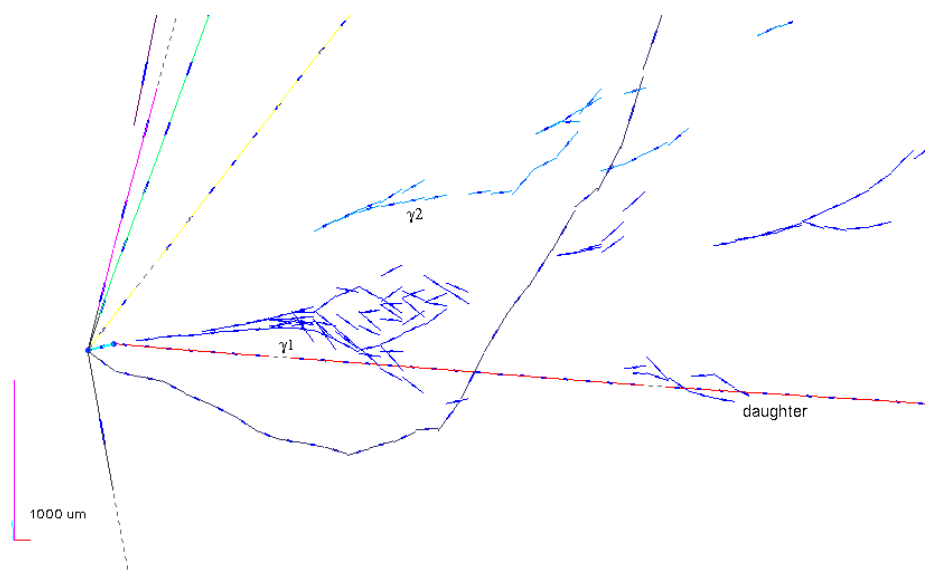


Рис. 7. Восстановленная картина события.

## 2. Процедуры сканирования эмульсий

В зависимости от задач эмульсионных экспериментов, сканирование ядерных эмульсий может осуществляться методами «по следу», «по площади» или «по полоскам». Способ просмотра «по следу» реализуется в прослеживании треков исследуемых частиц от места входа в эмульсионный слой, до взаимодействия, либо до места выхода трека из эмульсии. Просмотр «по следу» дает возможность проследить за частицей и обнаружить все взаимодействия высокой точностью. Суть метода просмотра «по площади» заключается в поиске событий из интересующих каналов реакций последовательно во всем объеме эмульсионного слоя, во всех слоях детектора. Этот метод эффективен при поиске событий с большой множественностью образующихся треков. Более быстрый набор статистики (по сравнению с просмотром «по следу») дает так же метод просмотра «по полоскам». Процедура поиска «по полоскам» отличается от просмотра «по площади» тем, что просмотр осуществляется в определенных частях

эмульсионного слоя отстоящих друг от друга на некотором расстоянии (шаге) так, что сканированные области напоминают полосы. Ширина шага подбирается в зависимости от условий облучения (тип частицы, энергия) и исследуемого процесса. Поиск событий данным методом опирается на особенности в расположении треков идущих от вершины взаимодействия.

## 2.1 Процедура проверки предсказаний, полученных от CS.

При сканировании CS отбираются все треки, которые могут вести к событию. Однако нет никаких гарантий, что данный трек не является треком частицы низкой энергии, влетевшей в CS с нужной стороны. Проверкой того, что трек относится к событию, является наличие продолжения трека в нескольких пластинках кирпича. В самом деле, если этот трек физичен и является треком реальной частицы события (а на двух пластинах всё ещё вероятны случайные совпадения двух базовых треков от частиц прошедших через каждый CS ещё до того, как они были сложены вместе и приложены к кирпичу), то он (этот трек) будет существовать и в пластинах самого кирпича (проложенных свинцом).

При этой проверке сканируются небольшие области (2x2 мм) в пяти нижних пластинах кирпича (номера пластин с 53 по 57). Затем уже оператор проверяет наличие базовых треков около предсказанных направлений. Если вдоль указанного направления обнаруживается несколько сегментов трека, то трек считается подтверждённым. Если существует несколько предсказаний в CS (а кирпичи с единственным предсказанием не редкость, но меньшинство), то выбирается одно или два предсказания, которые прослеживаются дальше, Рис.8.



Рис.8. Предсказанные и найденные участки треков. Желтые отрезки - возможные направления треков фоновых частиц, оранжевый отрезок - направление, предсказанное по данным электронных детекторов, сиреневые отрезки - направления, предсказанные по найденным в CS трекам, маленькие белые отрезки - найденные участки треков в пластинах с 53 по 57.

Критерием выбора трека для прослеживания является отсутствие рядом продолжений треков частиц, которые были ранее найдены в других кирпичах, близость по углам к мюону, если мюон был обнаружен ЕТТ, малые углы между отдельными сегментами трека. Последнее условие гарантирует, что прослеживаться будет частица высокой энергии (а в эксперименте речь идёт о частицах 2-10 ГэВ/с). Прослеживание трека в толщину кирпича также позволяет уточнить его направление, т.к. CS и 1-2 нижние пластины иногда бывают слегка деформированы (технологические моменты сборки/разборки кирпича).



## 2.2. Процедура «Сканирование Назад» - к вершине взаимодействия, поиск треков (Scan-Back - Track Follow.)

После проверки предсказаний начинается сканирование вдоль трека. Сканируются все 57 пластин кирпича (за редким исключением, когда в предварительных данных хорошо видна вершина в нижней половине кирпича). Площадь сканирования  $3 \times 3 \text{ мм}^2$ , этого достаточно, чтобы учесть изменения направлений импульсов частиц с энергиями около 1 ГэВ за счет многократного рассеяния, Рис.9.

На этом этапе сканирования, после восстановления базовых треков в каждой пластине, начинается восстановление треков между пластинами по той же методике, по которой микротреки соединяются в базовые треки. Отличием является лишь то, что алгоритм поиска допускает пропуски, т.е. сшиваются между собой не только соседние пластины, но и пластины через одну и через две. Прослеживание трека считается законченным, если в трёх пластинах подряд трек уже не находится. На Рис. 9 это пластины с 37 по 35. В результате получают объёмные треки (просто треки). Поиска вершин взаимодействий и юстировки пластин по мюонам космических лучей не производится.

Если после реконструкции события окажется, что трек вышел из предсказанной области площадью  $3 \times 3 \text{ мм}^2$ , проводится дополнительное сканирование пластин.

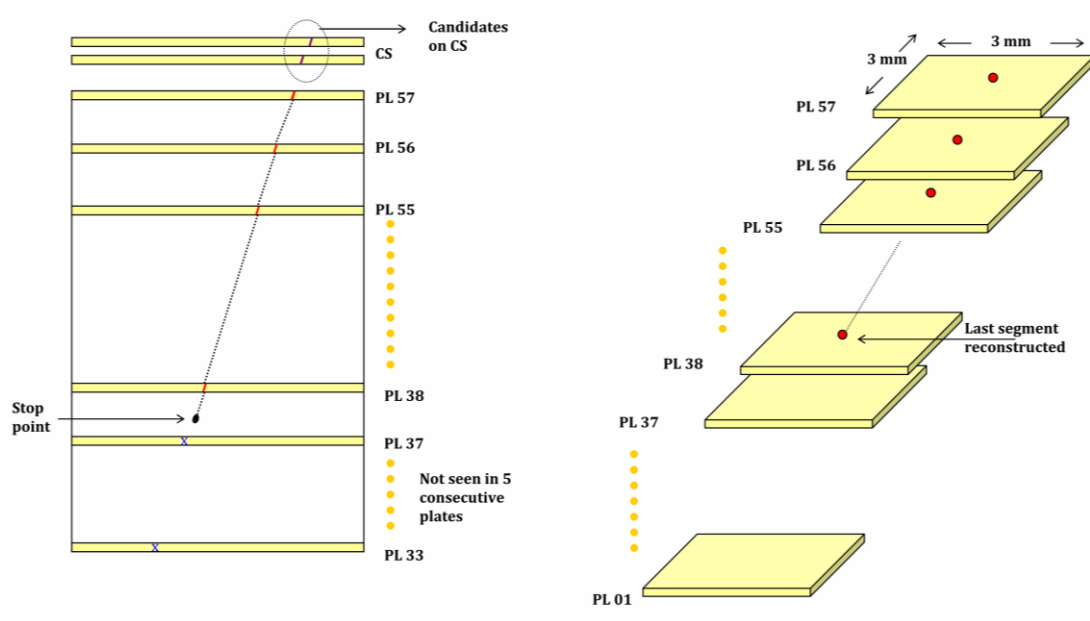


Рис. 9. Схема процедуры сканирования назад, к вершине взаимодействия, поиска треков (Scan-Back - Track Follow.)

## 2.3. Процедура «Сканирование объёма» - (Total Scan).

После того, как определилась последняя точка прослеженного трека (точка остановки), или была найдена вершина (т.е. ясно видны подходящие к точке остановки данного трека другие треки), проводится процедура сканирования по объёму вокруг точки остановки (Total Scan) для изучения области взаимодействия и восстановления топологии события, Рис.10. Проводится сканирование слоев эмульсии площадью  $1 \times 1 \text{ см}^2$  на 5 пластинах вверх (номер пластины уменьшается) и в 10 пластинах вниз (номер пластины увеличивается). В базу заносится информация о найденных треках с наклоном (slope acceptance) в пределах 0.6 ( тангенс угла наклона).

На данном этапе производится автоматическое связывание треков в вершины и юстировка положения пластин по трекам мюонов от космических лучей.

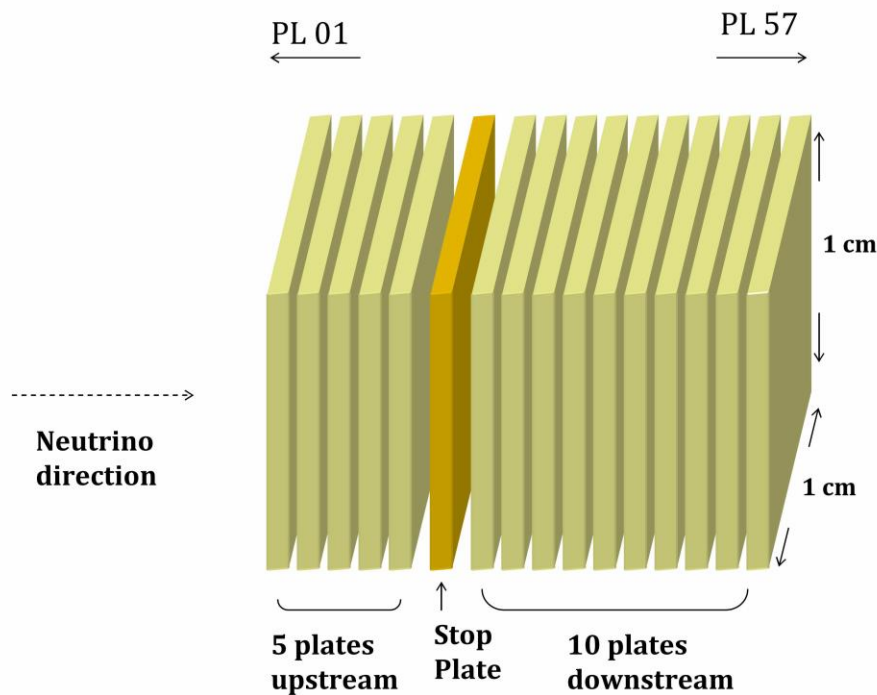


Рис. 10. Схема процедуры сканирования объема, соответствующего вершине взаимодействия.

## 2.4. Процедура «Восстановления геометрии события».

После того, как самый удачный трек был прослежен автоматически до остановки, отсканирована область вокруг возможной точки остановки, необходимо в ручном режиме проследить этот трек. Это нужно для корректного восстановления топологии. Автоматическое связывание треков в вершину – процедура ненадежная, требуется вмешательство оператора. На следующем этапе, в области вблизи найденной вершины, подробно исследуются треки и сегменты треков.

Процедура ручной проверки события позволяет надёжно определить количество треков, сходящихся к найденной вершине, проверить единственность этой вершины, наличие электромагнитных каскадов. Т.е. изучить событие, см.Рис.11(а,б).

Первые пять сегментов трека рассматриваются особенно подробно, чтобы обнаружить небольшие изломы участков трека, превышающие отклонения, возникающие в результате многократного рассеяния частицы. Единичное отклонение сравнивается с распределением по углам рассеяния для частицы данного трека, полученным на основании прослеживания трека по пластинам от точки взаимодействия. Если излом велик, то велика вероятность, что в этом месте трека произошёл распад заряженной частицы на несколько, в т.ч. незаряженных. Такой распад, наряду с несколькими дополнительными геометрическими ограничениями позволяет выделять распады отдельных типов частиц. Соответственно, принимается решение о дополнительной ручной проверке наличия сегментов трека и измерении их параметров.

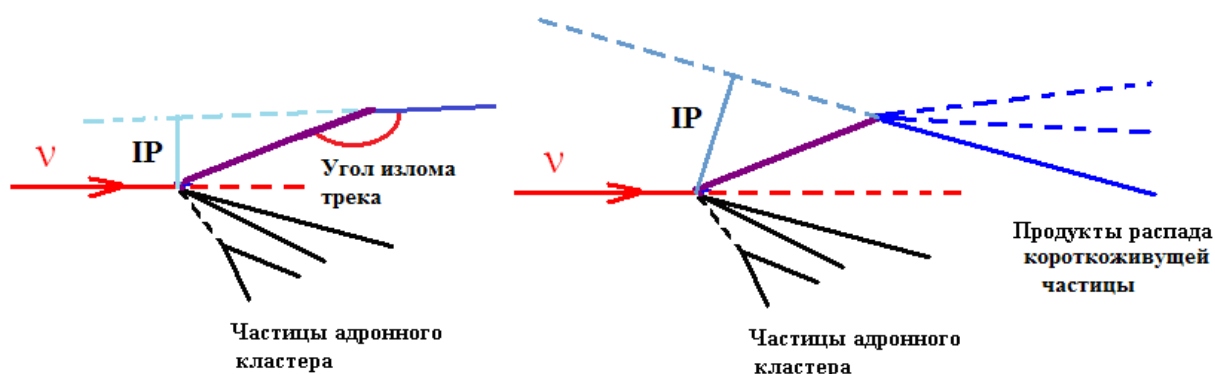


Рис. 11. (а) - схема события с треком, имеющим излом, (б) - схема события с распадом короткоживущей частицы

Дополнительно проводится поиск экстра-треков. Экстра-треки - это треки, которые не были привязаны к вершине автоматически, но относящиеся к событию. Их важно не потерять. Это могут быть, например, треки дочерних частиц, образующихся при распаде короткоживущих нейтральных частиц, либо треки слабоионизирующих частиц, у которых не были найдены два ближайших к вершине сегмента, Рис.11(б) . Проверяются экстра-треки, имеющие прицельный параметр (**Impact Parameter, IP**) до 500 мкм.

Одна и та же стандартная процедура может быть применена и для мюонов, родившихся в первичной вершине в случае события с заряженным током (CC) и для треков всех адронов в случае события с нейтральным током (NC).

## 2.5. Процедура «Сканирование Вперед» (Scan-Forth - Track Follow).

В анализ события включаются данные, полученные процедурой сканирования треков от первичной вершины - вперед (SF) (Рис.12). Режим сканирования вперед полностью подобен режиму сканирования назад (SB). Эта процедура важна для высокоэнергичных адронов, треки которых исходят из первичной вершины, и мюонов. Процесс SF заканчивается, когда частица покидает эмульсионный кирпич или обнаруживается конечная точка трека, которая тоже может быть подробно отсканирована в окружающем объеме HI-Volume для исследования природы вторичного взаимодействия.

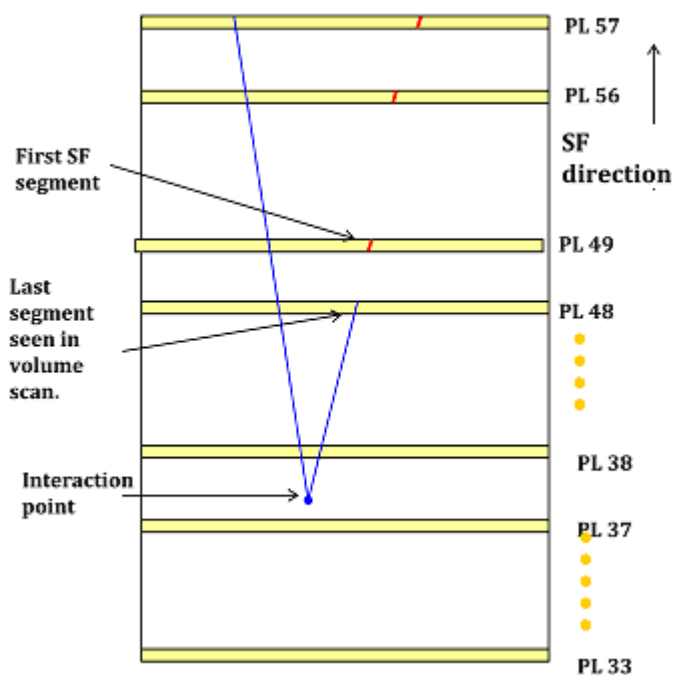


Рис.12 . Схематическое изображение процедуры сканирования вперед (Scan-Forth).

Синей линией показаны треки, найденные при сканировании назад (Scan back), и найденные во время объемного сканирования (Scan Volume ), красные участки соответствуют участкам трека, найденным во время сканирования вперед (Scan-Forth) от пластины № 49 к пластине № 57.

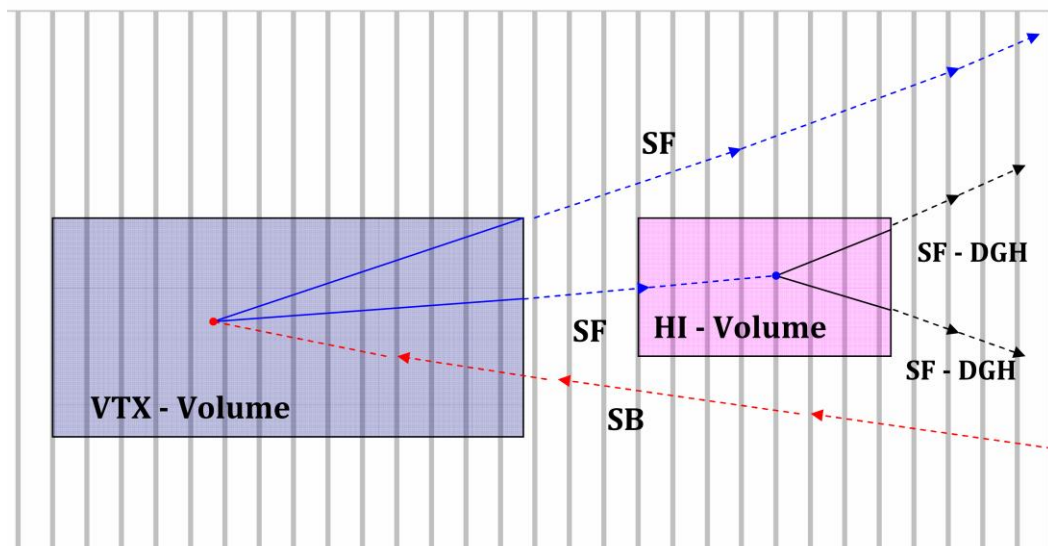


Рис.13. Схематическое изображение процедур сканирования эмульсионных слоев.

На Рис.13. представлена полная схема сканирования, включающая в себя предварительные процедуры поиска вершин. Красной линией изображено направление от предсказанного в CS (Changeable Sheet) по процедуре SB (Scan Back - Track Follow) к точке взаимодействия. Синий прямоугольник представляет собой объем, отсканированный вокруг вершины. В результате этого сканирования обнаружались новые треки, сходящиеся к вершине, они показаны сплошными синими линиями. С помощью процедуры SF (Scan Forth) вновь обнаруженные треки прослеживаются вперед через эмульсионные слои (пунктирная синяя линия). Один из треков вышел из объема данного эмульсионного кирпича (частица покинула кирпич). Другая частица остановилась в кирпиче. Для исследования ее взаимодействия выполняется сканирование по объему, изображенному фиолетовым прямоугольником. Дочерние треки второго поколения также прослеживаются с помощью процедуры SF(Scan Forth) до выхода из эмульсионного кирпича (пунктирные черные линии).

Информация о треках, полученная в результате всех фаз сканирования, используется оператором на последнем этапе восстановления картины события.

### 3. Восстановление картины события с помощью программного обеспечения SySal.

Программное обеспечение SySal (System of Salerno) создано изначально для эксперимента CHORUS, затем было адаптировано для нужд эксперимента OPERA. Ниже описана часть, относящаяся к ручной проверке реконструкции события. Программа *EasyReconstruct*.

#### 3.1. Описание некоторых окон *EasyReconstruct*.

##### 3.1.1 Основное окно.

При запуске *EasyReconstruct.exe* выводится ОСНОВНОЕ окно *Easy Reconstruct* с тремя вкладками *File Mangement*, *Display* и *Reconstruction* (см. Рис. 14(а,б)).

Вкладка *File Management* в окне *Easy Reconstruct* (Рис. 14(а)) служит для выбора и загрузки файлов данных. В первом поле *Reconstruction Input File* можно выбрать файл с данными (кнопка *Input File* открывает диалог выбора файла) и их загрузить (кнопка *Load*). Автоматическая загрузка не сделана

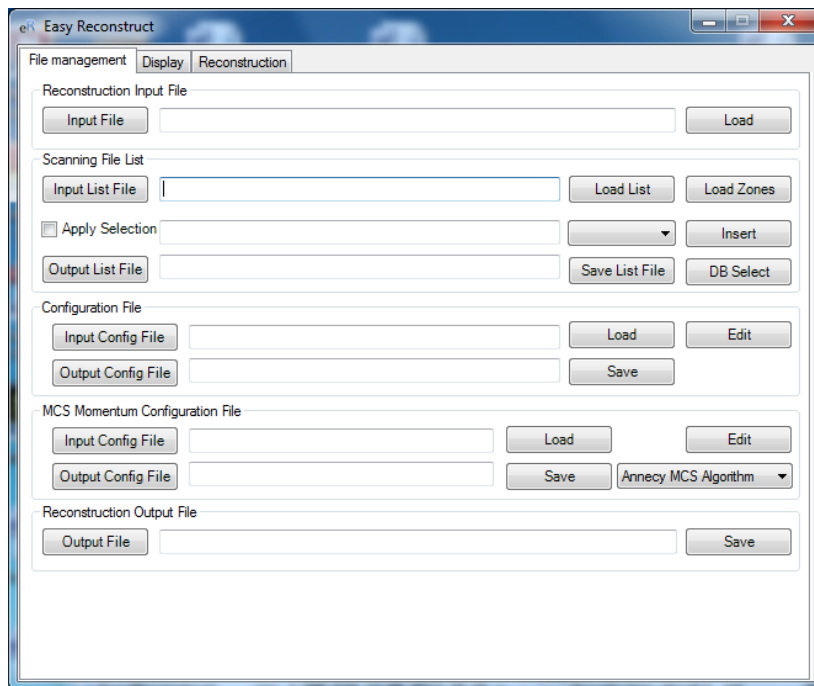


Рис.14 (а). Вкладка File Management на панели Easy Reconstruct .

для упрощения работы с множественными файлами с близкими названиями (в случае прослеживания многих треков в кирпиче, где нет предсказаний ЕТТ - электронных детекторов).

Панели Scanning File List, Configuration File, MISC Momentum Configuration File и Reconstruction Output служат для ручной переобработки сырых данных с указанными параметрами. Требуется для особых случаев плохих эмульсий или для технических задач. В рамках обычной работы также не используется.

Вкладка Display в окне Easy Reconstruct (Рис. 14(б) - овал 1 ) позволяет загрузить дополнительные данные из базы OPERA (кнопка Browse DB, в студенческой версии задачи база недоступна) и перейти к основным операционным окнам .

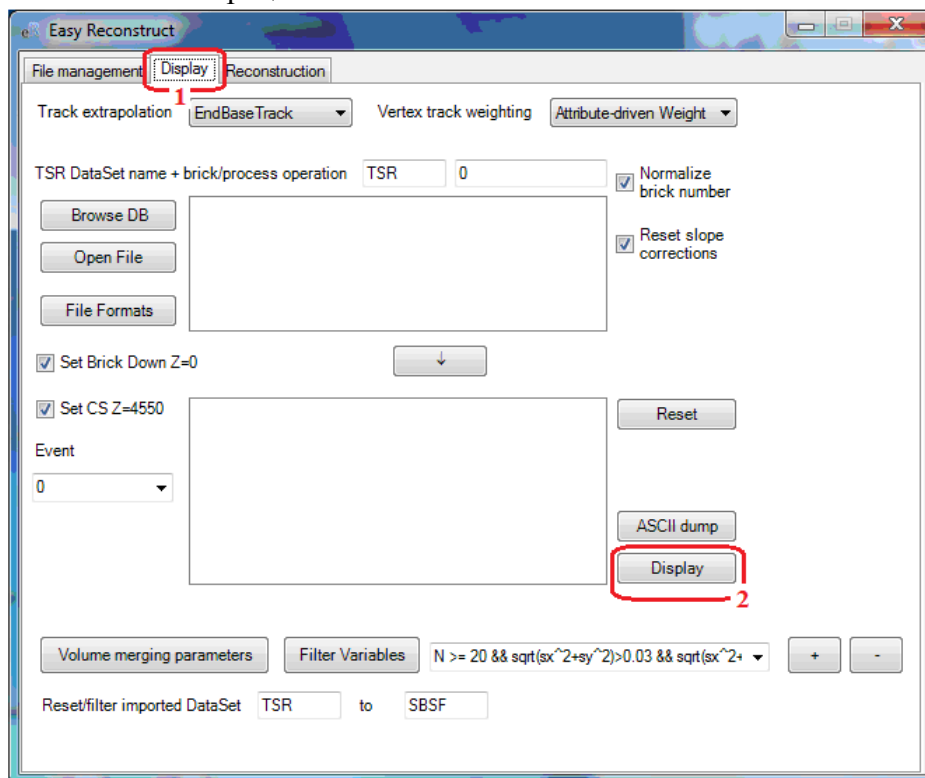


Рис.14 (б). Вкладка Display в окне Easy Reconstruct

Подгрузить дополнительные данные из файлов, помимо основного позволяет кнопка *Open File*. Кнопка *File Formats* открывает справку по формату текстового файла, распознаваемого программой, содержащего информацию о сегментах. Данный тип файлов генерируется при ручной проверке или при обработке данных сторонним ПО.

Кнопка *Reset* позволяет сбросить буфер с данным дополнительно подгруженных файлов в случае ошибки при выборе. При переходе к другому файлу на вкладке **File Management** в окне **Easy Reconstruct** буфер также нужно очищать вручную.

Кнопка *ASCII Dump* позволяет сбросить все треки в буфере в текстовый файл для отдельной обработки. Получаемый файл отнюдь не маленький и выгрузка данных может занять существенное время.

Кнопка *Display* в окне **Easy Reconstruct** (овал 2), Рис.14 (б), открывает окна **Display** и **DisplayPanel** (основные рабочие окна). Срабатывает только при подгруженном на вкладке **File Management** файле с данными, впустую не работает. Просто загруженные данные через *Open File* или *Browse DB* так же не отображает.

Вкладка **Reconstruction** нужна для ручного запуска поиска вершин и юстировки по частицам космических лучей отсканированных объёмов, для которых это не было сделано (для данных процедур SB и SF). Используется крайне редко и в специфических случаях проверки работоспособности и юстировки сканатора. Для нормальной работы не требуется.

Кнопки **Volume Merging Parameters** и **Filter Variables** позволяют самостоятельно настроить параметры слияния данных отсканированных объёмов эмульсии. Значения по умолчанию являются оптимальными для используемых эмульсий, однако, для сложных случаев испорченных эмульсий или слияния экспериментальных данных с данными Монте-Карло можно поправить эти значения.

Самые нижние окна позволяют настроить правила переименования объёмов данных, т.к. при сканировании каждый из них получает название TSR+номер кирпича. Слияние двух одинаково названных объёмов не разрешено (т.к. адресация и выбор с какими именно данными работать, осуществляется по имени файла).

### 3.1.2 Окна **Display** и **DisplayPanel**.

Окна **Display** и **DisplayPanel** являются основными рабочими окнами. Первое (см. Рис. 15) является управляющим окном, определяющим, какие объекты будут отображаться во втором окне и какие будут доступны для просмотра. **Работу с окном **DisplayPanel** будем осваивать в процессе реконструкции события.**

#### • **Панель Selection**

Панель **Selection** занимает всю левую половину окна **Display** (Рис. 15, области 1–4) и управляет выбором баз данных, с которыми будет идти работа (загруженный файл, каждый подгруженный дополнительно файл, загруженное из центральной базы – всё это считается отдельными базами данных). Выбор самих баз расположен слева в самом низу окна. В данном случае работа идёт с единственным источником данных TSR 0. В общем случае таких баз может быть несколько.

В самом верху панели **Selection** расположен фильтр объектов (Рис. 15, область 1), которые будут отображаться и которые можно будет выбрать курсором в окне **DisplayPanel**. По порядку:

- *Segments* – сегменты треков, те самые базовые треки в каждой пластине;
- *Tagged Segments* – при работе с модельными данными сегментам присваиваются метки для удобства работы с ними, данный пункт позволяет работать только с мечеными сегментами;
- *Untagged Segments* – обратный предыдущему, работа с сегментами без меток;
- *Track Segments* – отображение и работа с сегментами треков. В отличие от первого пункта строит и позволяет работать только с сегментами, которые принадлежат какому-либо треку;
- *Tracks* – построение и работа с собственно треками, т.е. строятся треки (как цепочки сегментов, соединённые линиями).
- *Vertices* – вершины, отображаются и доступны для выделения вершины и треки из них. Стоит заметить, что и при активном выборе *Tracks* будут отображаться вершины, к

которым присоединены отображаемые треки. Чекбокс *Show segments* рядом позволяет строить вершины и сегменты треков, приписанных к ним, а не сами треки.

- *Graph from Tk#* – построение трека, номер которого вводится в поле справа. Кнопка «>» позволяет открыть **TrackBrowser** (см. ниже) для этого трека.
- *Graph from Vtx#* – построение вершины и треков данной вершины, номер которой вводится в поле справа. Кнопка «>» позволяет открыть **VertexBrowser** (см. ниже) для этой вершины.

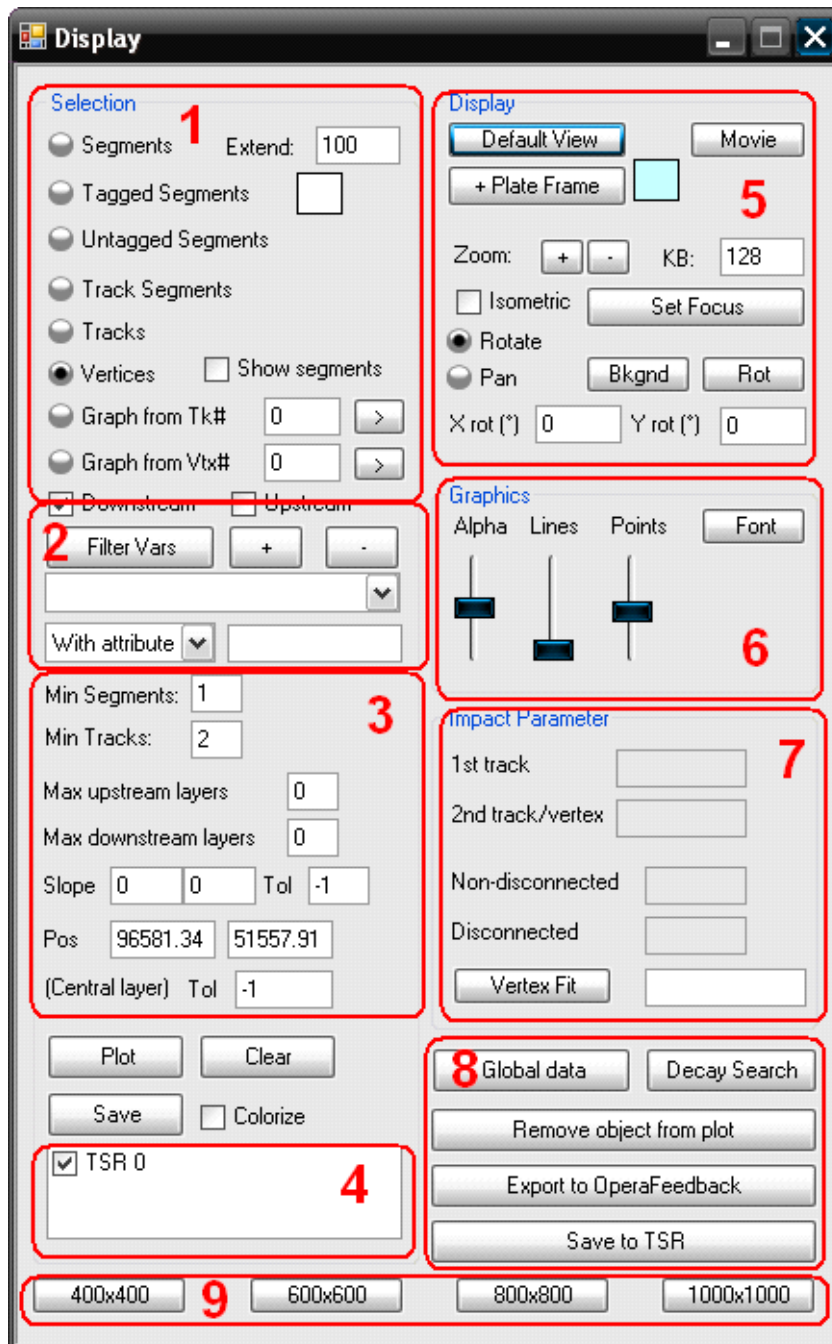


Рис.15. Внешний вид окна Display.

Чекбоксы *Downstream* и *Upstream* оставлены для совместимости и в текущей версии смысловой нагрузки не несут.

Ниже идёт блок (Рис. 15, область 2), позволяющий фильтровать отображаемую информацию. Кнопка *Filter Vars* выводит список переменных (Рис. 16). Часть переменных дублируется, но имеет разное значение (по историческим причинам).

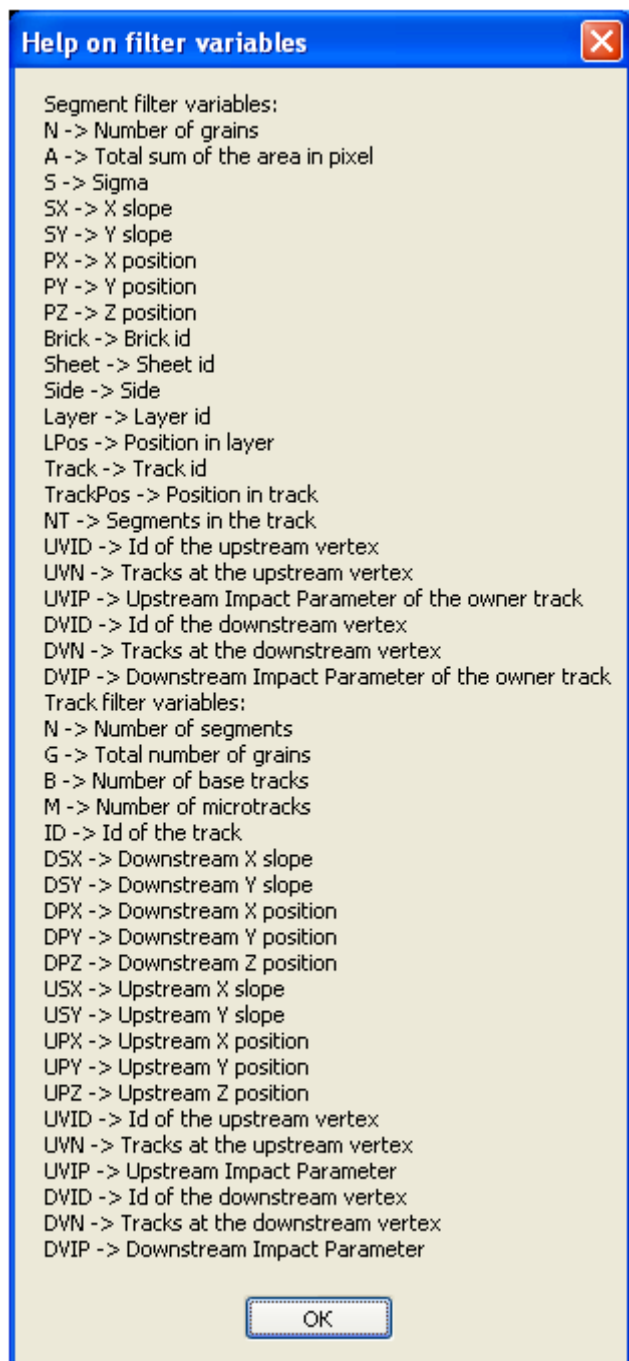
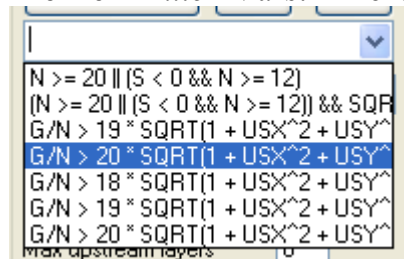


Рис. 16. Справка по переменным, доступным для создания фильтров.

Сами фильтры в виде условных выражений вводятся в строку выпадающего меню сразу под кнопкой *Filter Vars*. В этом меню можно посмотреть уже введённые ранее условия, например



Кнопка «+» над строкой позволяет сохранить условие для быстрого доступа позже, кнопка «-» позволяет стереть ранее сохранённое условие. Ниже доступно ещё одно окно фильтра, позволяющее фильтровать объекты не по их параметрам, а по назначенным им меткам. Про назначение меток объектам см. ниже в тексте.

Поля ниже (Рис. 15, область 3) позволяют быстро отфильтровать треки и вершины по количеству сегментов и треков в них соответственно. *Min segments* задаёт минимальное число сегментов в треке,



при котором этот трек будет отображаться, а *Min Tracks* – минимальное количество треков в вершине, при которой эта вершина будет отображаться при прямом построении вершин. *Max upstream layers* и *Max downstream layers* – фактически задают отступы от краёв отсканированного объёма, в котором дальше идёт работа. Нулевые отступы означают, что рассматривается весь отсканированный объём.

Следующим располагаются поля быстрого фильтра треков *Slope* (и только треков, на сегменты не действует) по наклону. Первое поле – тангенс угла наклона проекции трека на плоскость XOZ к оси OX, второе – проекции трека на плоскость YOZ к оси OY. Поле правее – *Tol* (tolerance) – тангенс угла максимального отклонения от указанного направления. Отрицательное значение означает любое произвольное отклонение (т.е. фильтр фактически не работает).

Поле *Pos* позволяет выделить треки проходящие вблизи определённой точки. Поле *Tol* рядом с ним действует аналогично такому же полю фильтра по углам. Величины задаются в микронах.

Ниже располагаются кнопки *Plot* и *Clear*. Кнопка *Plot* строит все выбранные в верхней части панели **Selection** объекты (треки, сегменты и пр.), удовлетворяющие указанным ниже условиям. Если условия исключают все объекты, то ничего построено не будет. Если условия противоречивы, например, в поле фильтра введено условие для сегментов, а выбрано построение треков, то будет выведено сообщение об ошибке. Кнопка *Clear* полностью очищает **DisplayPanel**.

Чекбокс *Colorize*, исторически переключал режим построения объектов с чёрно-белого на цветное. Сейчас ситуация обратная, флажок отключает цвет и делает изображение чёрно-белым.

Кнопка *Save* позволяет сохранить в графический файл (несколько форматов на выбор) то, что в данный момент отображается на **DisplayPanel**.

Ниже расположено (Рис. 15, область 4) окно выбора базы данных. Как уже отмечалось выше, каждый файл с отсканированными треками данной программой рассматривается как база данных. Плюс есть информация, загружаемая из базы данных напрямую или по ссылке. Снятие галочки исключает построение объектов из этой базы. Манипулируя активными базами, можно легко накладывать треки из разных баз с разными условиями.

На этом функционал панели заканчивается. Стоит отметить, что в части фильтров, данная панель управляет всем процессом построения объектов, вне зависимости от того, из какого окна и какой панели была дана команда на построение объектов. Ниже будет рассмотрено ещё несколько рабочих окон, в которых так же есть инструменты построения объектов, но все они подчиняются данным фильтрам. В этом смысле, данные фильтры являются глобальными. Выбор объектов влияет на прямую команду построения (*Plot*) из отдельных окон, однако команда построения конкретных объектов (*Plot segments*) может игнорировать этот выбор. Подробные замечания будут даны в описании каждого окна.

### • **Панель *Display*.**

Данная панель (Рис. 15, область 5) содержит в себе элементы управления окном **DisplayPanel**. Повороты, изменение масштаба, смена ракурса, всё это управляется с этой панели. Кнопка *Movie* предназначена для создания анимированных роликов для презентаций и к делу отношения не имеет. Кнопка + *Plate Frame* добавляет к построенным объектам контуры эмульсионных слоёв. Окошко справа от неё позволяет выбрать цвет этих контуров.

Кнопка *Default view* возвращает картину в окне **DisplayPanel** к ракурсу «по умолчанию». Увеличение при этом не меняется. Ниже расположены кнопки изменения масштаба «+» и «-».

Кнопка *Set Focus* переносит «фокус» виртуальной камеры на выбранный объект. Т.е. после нажатия на кнопку, необходимо кликнуть на объект на **DisplayPanel**, на который надо перенести «фокус». В дальнейшем все повороты картины будут осуществляться вокруг выбранного объекта. Сам объект будет помещён в центр окна **DisplayPanel**.

Чуть ниже расположен выбор действия правой кнопки мыши на окне **DisplayPanel** – поворот вокруг точки фокуса (*Rotate*) и смещение точки фокуса в плоскости изображения (*Pan*).

Расположенная ниже кнопка *Bkgnd* (*Background*) позволяет выбрать цвет фона в окне **DisplayPanel**. По умолчанию этот цвет чёрный.

Рядом расположена кнопка *Rot* позволяющая повернуть картину на **DisplayPanel** к выбранному ракурсу. Ракурс определяется двумя углами, вводимыми в поля под кнопкой.

Основными кнопками этой панели являются кнопки изменения масштаба и кнопка переноса фокуса. По сути, остальные элементы существуют для упрощения подготовки изображений для презентаций и отчётов.

- **Панель Graphics.**

Данная панель (Рис. 15, область 6) управляет размером и насыщенностью линий в окне **DisplayPanel**. Первый бегунок (*Alpha*) меняет прозрачность всех объектов. При нулевой прозрачности (крайнее верхнее положение) линии изображения будут максимально насыщенными, но будут хуже разделяться визуально. В крайнем нижнем положении все объекты станут прозрачными и перестанут быть видимыми.

Второй бегунок (*Lines*) задаёт толщину линий. По умолчанию находится в крайнем нижнем положении. Сдвигается только в определённые положения. Уже во втором снизу положении толщина отображаемых линий становится такой, что перестаёт работать выделение отдельных объектов (см. ниже). Не рекомендуется трогать.

Третий бегунок (*Points*) задаёт размер кружков, которыми отображаются вершины. По умолчанию находится в оптимальном положении.

Кнопка *Font* позволяет выбрать размер и тип шрифта, которым будут наноситься надписи на изображение (подписи сегментов и пр.).

- **Панель Impact Parameters.**

Данная панель (Рис. 15, область 7) служит для быстрой проверки на сходимость любых двух треков, а также для создания аппроксимаций вершин. Единственным активным элементом на данной панели является кнопка *Vertex Fit*, открывающая окно аппроксимации вершины (см. ниже про окно **VertexFit**) с именем, введённым в поле справа от неё. При пустом поле, сообщение о необходимости заполнить соответствующее поле.

Остальные поля отображают результаты проверки на сходимость двух выбранных треков. Треки для проверки выбираются соответствующими командами в окне **TrackBrowser** (см. ниже).

- **Служебные кнопки.**

На Рис. 15 области 8 и 9 содержат кнопки служебных функций.

Кнопка *Global Data* открывает справку по текущим параметрам юстировки пластин, смещениям, карте искажений и пр.

Кнопка *Decay Search* открывает справку-диалог по процедуре поиска распадов и дополнительных треков. В рамках данной задачи не используется.

Кнопка *Remove object from plot* после нажатия переводит окно **DisplayPanel** в режим удаления объектов по двойному клику. Объекты только стираются с панели, но никаким образом не удаляются из баз данных. Дополнительно кнопка переименовывается в *Stop removing objects*. Повторное нажатие на неё выводит **DisplayPanel** из режима удаления объекта и переводит его обратно в режим выбора объекта по двойному клику.

Расположенная ниже кнопка *Export to OperaFeedback* является чисто служебной. Открывает окно формирования отчёта о событии. Во избежание лучше не трогать, т.к. в отсутствие связи с базой (как в случае данной работы) делает работу всего приложения нестабильной.

Ниже расположена кнопка *Save to TSR* позволяющая сохранить текущее состояние баз в один файл. Т.е. будут сохранены все изменения треков, вершин (в том числе добавленные метки). Не будет сохранена нумерация, если какой-либо объект был удалён (например, одна вершина была разобрана на две новые) или добавлен (создан новый трек из ранее несвязанных сегментов). Позволяет сохранять промежуточные результаты.

В самом низу расположены 4 кнопки выбора размера окна **DisplayPanel**. Масштаб изображения при изменении размера окна не изменяется.

Описание окна **TrackBrowser**.

## 3.2. Задание № 1. Реконструкция события оператором.

### 3.2.1 Прослеживание треков от CS до возможной вершины в кирпиче.

Приступаем к прослеживанию треков из CS через эмульсионные слои до конца трека. При этом будем продолжать осваивать возможные функции, встроенные в EasyReconstruct.

Для получения трехмерной картины события, необходимо загрузить файлы с координатами микротреков, полученными в результате работы сканирующего микроскопа, в комплекс программ обработки SySal, а именно в выполняемую на этапе сборки события часть EasyReconstruct.

Это могут быть файлы:

TSR(номер эмульсионного кирпича)

SBSF(номер процедуры) - результат процедур Scan Back - Scan Forse

CS(номер процедуры) - треки частиц, зарегистрированных в съемной эмульсионной пластине Changeable Sheet.

На Рис. 17(а) приведено окно процедуры EasyReconstruct - FileManagement, с помощью которого можно "загрузить" подготовленные файлы, необходимые для восстановления события.

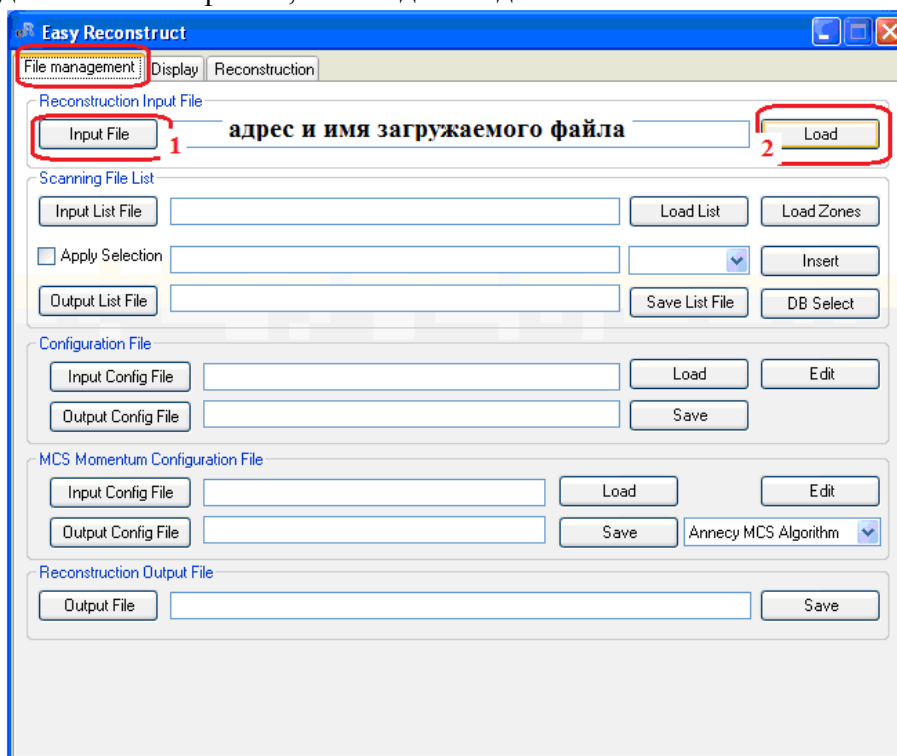


Рис.17 (а). Загрузка файла для реконструкции события. Обратите внимание на то, что активна вкладка File management. В таком случае после нажатия "кнопки" InputFile(1) и Load(2) не нужно будет выполнять шаги (1) и (2), отмеченные на Рис. 17(б).

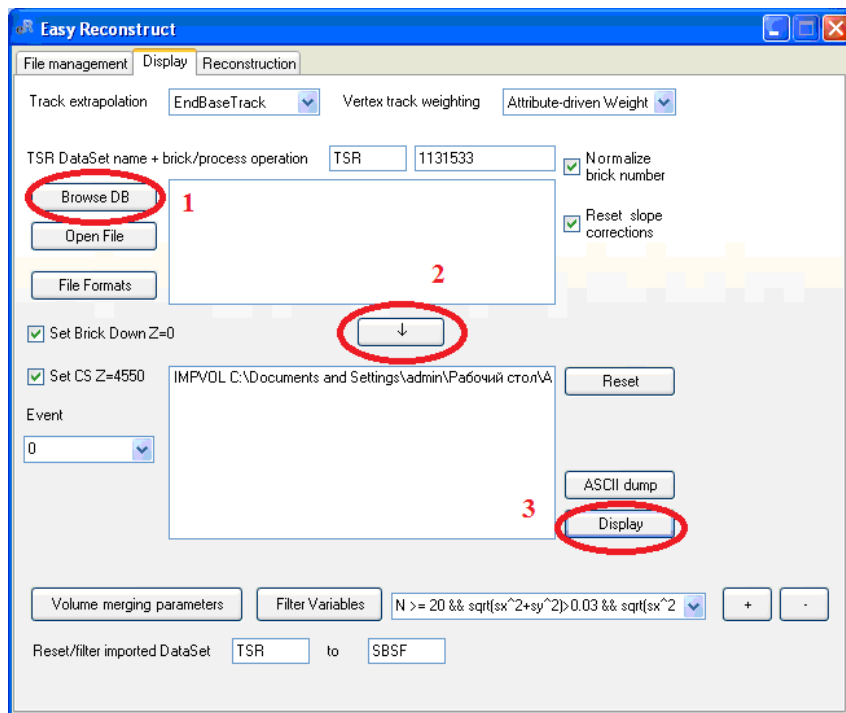


Рис.17 (б). "Загрузочное" окно процедуры Easy Reconstruct - Display (открыта вкладка Display) . Цифрами обозначена последовательность действий, в случае, если не была загружена информация через File management - шаги 1, 2, 3. Рис.17(а). Если процедуры " InputFile и Load на Рис.17(а) проведены, нужно только активировать вкладку Display (3).

После активации кнопки Display (Рис.17 б), будут доступны окна панели Display, приведенное на Рис.15 и DisplayPanel. Выше уже были подробно описаны возможности, доступные на панели Display. На данном этапе можно освоить некоторые возможности панели Display, связанные с видом DisplayPanel - панели визуализации (Рис. 18) - кнопки, задающие размер окна, кнопки Zoom, Set Focus (см.Рис.15). Попробуйте посмотреть изображение на DisplayPanel под разными ракурсами, удерживая правую клавишу мышки.

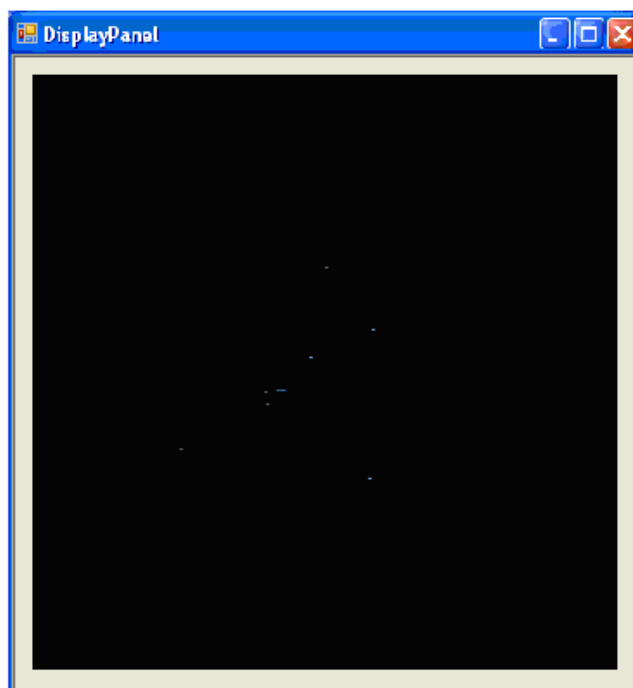


Рис.18. Вид панели DisplayPanel. На данном рисунке представлены участки треков частиц, построенные по данным съемной эмульсионной пластине Changeable Sheet.

Далее работаем с окном Display, Рис.15 .

1. Ставим флажок в поле выбора базы треков рядом с файлом TSR1131533. Тем самым подключаем к анализу данные о треках из этого файла;
2. Активируем опцию Track Segments ;
3. Plot;

В результате должно получиться изображение на Рис. 19.

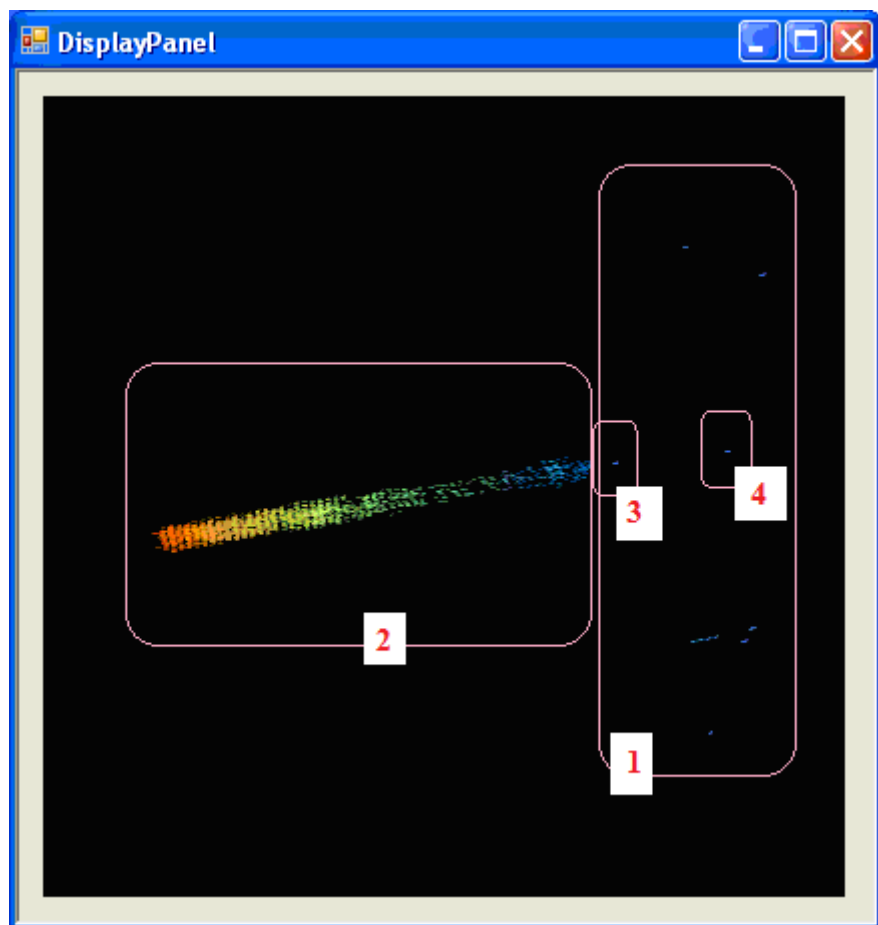


Рис. 19. Визуализация сегментов треков, найденных в сменной эмульсионной пластине CS (Changeable Sheet) (1, 3, 4) и подключенных из остальных баз (2)

Наша задача - выбрать из множества изображенных в области 2 треков, только те, которые являются продолжениями подходящего сегмента трека из CS, область 3.

Увеличиваем участок вокруг области 3 на Рис.19 с помощью кнопок «Zoom» и «Set Focus» в окне Display, получается Рис. 20.

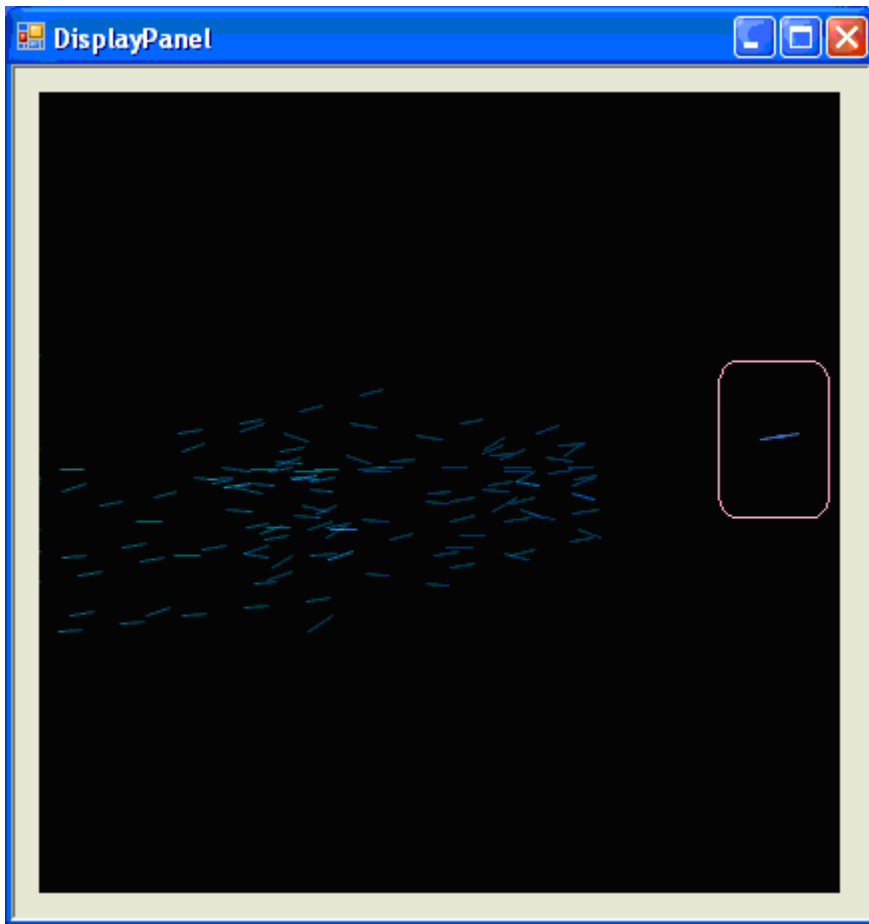


Рис. 20. Участок трека из CS и треки из базы.

Выбираем **Tracks** в окне Display (Рис.15). Кликаем мышкой по треку из CS на DisplayPanel. В результате получаем окно **TrackBrowser** с информацией о треке, Рис.21.

Обнаруживается, что на данном этапе треку присвоен номер №692 (1), и действует вкладка **General** (2) (выводится основная информация о участке трека). Попробуйте установить флажок **Highlight** (3). Участок трека станет более ярким.

На будущее стоит обратить внимание на возможность открыть информацию о вершине, к которой прикреплен данный трек – **VertexBrowser** – перейти по ссылке **Go to Upstream Vertex** в **TrackBrowser (General)**. Пройти по вкладке **Go to Upstream Vertex**, получится, если соответствующая вершина имеется. На данном этапе вершины нет, и кнопки **Go to Upstream Vertex** и **Go to Downstream Vertex** не активны.

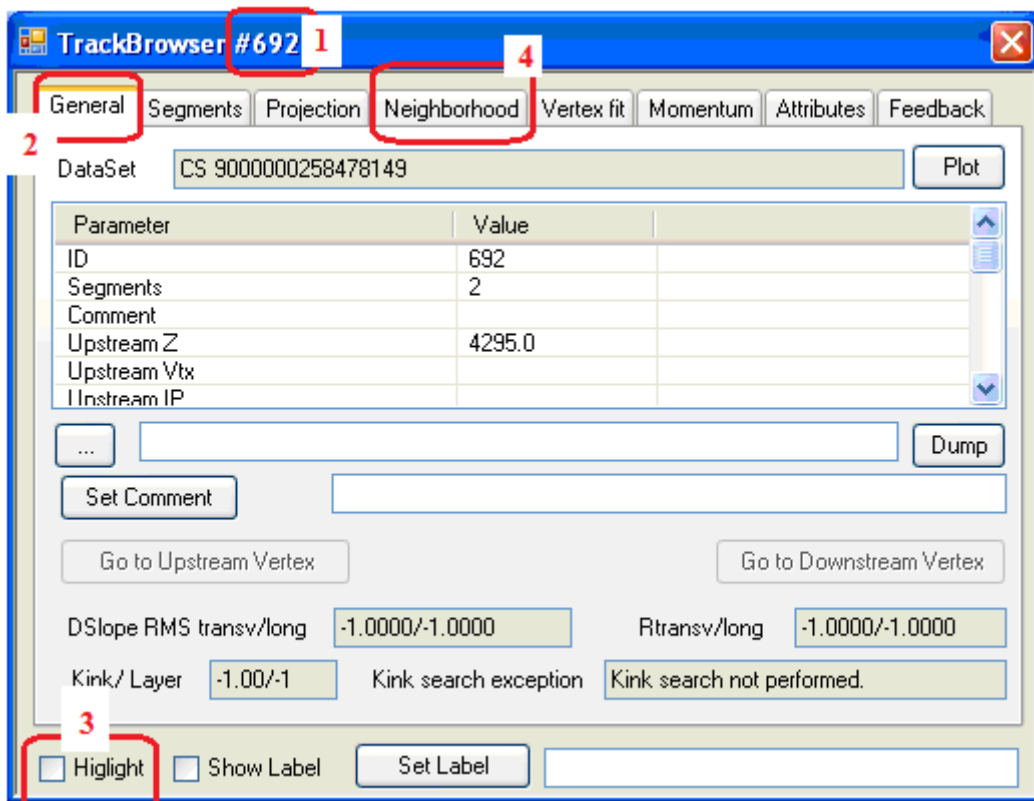


Рис.21. Вывод панели TrackBrowser.

Далее активируем вкладку Neighborhood, (4) на Рис.21. Результат - на рис.22. Активируя Neighborhood, ищем участки трека из базы данных, найденные в разных пластинах, которые могут быть продолжением трека №692.

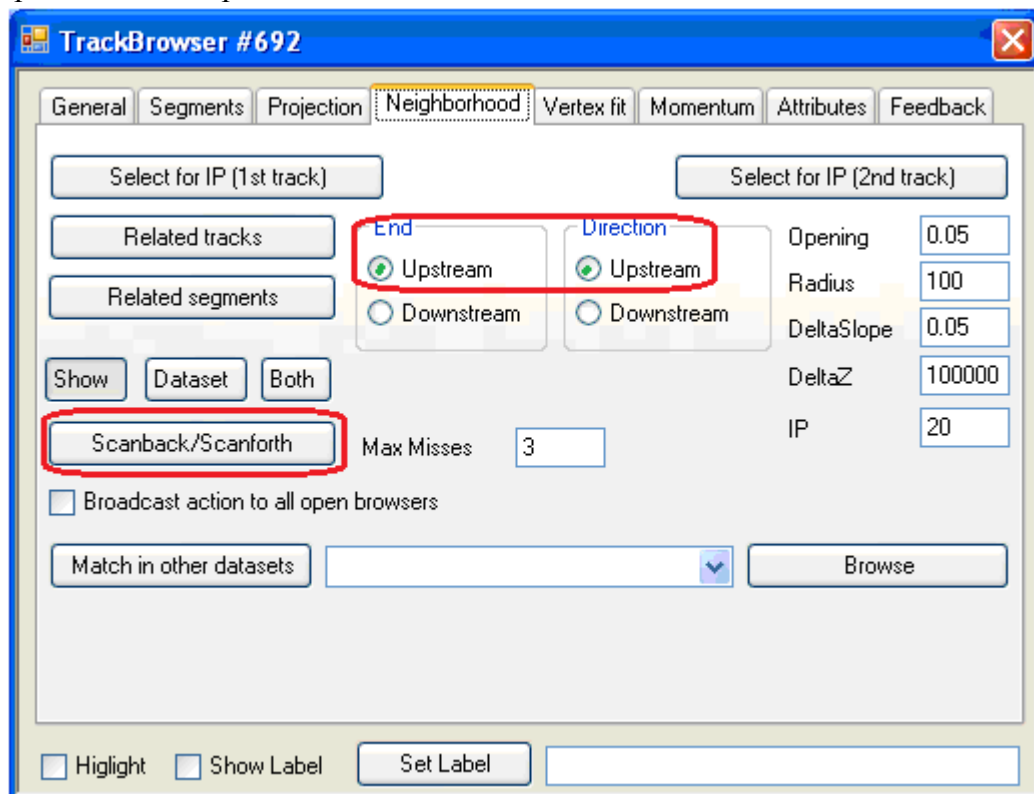


Рис.22. Активна вкладка Neighborhood на панели TrackBrowser.

Выбираем Upstream и для панели End и для панели Direction для конца и направления трека (т.е. ищем подходящие сегменты в сторону конца трека и вблизи направления, заданного треком) и активируем Scsnback/Scanforth. Появляется окно на Рис.23 с информацией о сегментах трека, которые найдены в

пластинах с 57 до 34 процедурой "сканирование назад". Номер пластины выделен.

TRACK	ID_PLATE	Z	GRAINS	FPX	FPY	FSX	FSY	OFFX	OFFY	OFFSX	OFFSY
692	2	4550.0	21	11742.6	13628.5	0.00030	0.07910	11742.6	13628.5	0.00030	0.07910
2	57	8.1	29	11710.5	13308.4	-0.00708	0.08001	11710.5	13308.4	-0.00708	0.08001
2	56	-1293.0	26	11736.9	13204.2	-0.01111	0.08030	11736.9	13204.2	-0.01111	0.08030
2	55	-2606.0	17	11736.5	13116.8	0.00630	0.06482	11736.5	13116.8	0.00630	0.06482
38	52	-6494.2	23	11782.2	12818.1	-0.01117	0.07583	11782.2	12818.1	-0.01117	0.07583
38	50	-9106.0	14	11777.0	12629.2	0.00783	0.06212	11777.0	12629.2	0.00783	0.06212
38	49	-10406.0	17	11801.1	12533.2	0.00314	0.06980	11801.1	12533.2	0.00314	0.06980
38	48	-11702.1	16	11804.4	12448.9	0.00668	0.07041	11804.4	12448.9	0.00668	0.07041
38	47	-13006.0	13	11802.2	12344.3	0.00417	0.06695	11802.2	12344.3	0.00417	0.06695
38	46	-14296.4	23	11805.3	12236.0	-0.01088	0.06987	11805.3	12236.0	-0.01088	0.06987
38	45	-15606.0	15	11814.2	12145.1	0.00466	0.05934	11814.2	12145.1	0.00466	0.05934
38	44	-16906.0	14	11802.9	12068.7	0.00619	0.06533	11802.9	12068.7	0.00619	0.06533
-1	43	-18206.0	16	11827.1	11963.4	0.01119	0.07232	11827.1	11963.4	0.01119	0.07232
-1	41	-20806.0	14	11825.2	11782.6	0.00771	0.05676	11825.2	11782.6	0.00771	0.05676
-1	40	-22106.0	14	11849.3	11680.9	0.01035	0.07060	11849.3	11680.9	0.01035	0.07060
-1	38	-24706.0	13	11858.0	11504.4	0.01135	0.06806	11858.0	11504.4	0.01135	0.06806
-1	34	-29894.5	23	11871.6	11132.9	-0.01134	0.07347	11871.6	11132.9	-0.01134	0.07347

Рис.23. Информация о сегментах треков, которые могут стать продолжением трека №692.

На DisplayPanel подходящие сегменты треков соединятся сиреневой линией, Рис 24 (а). Это еще не соединение сегментов в трек, а только предварительная визуализация.

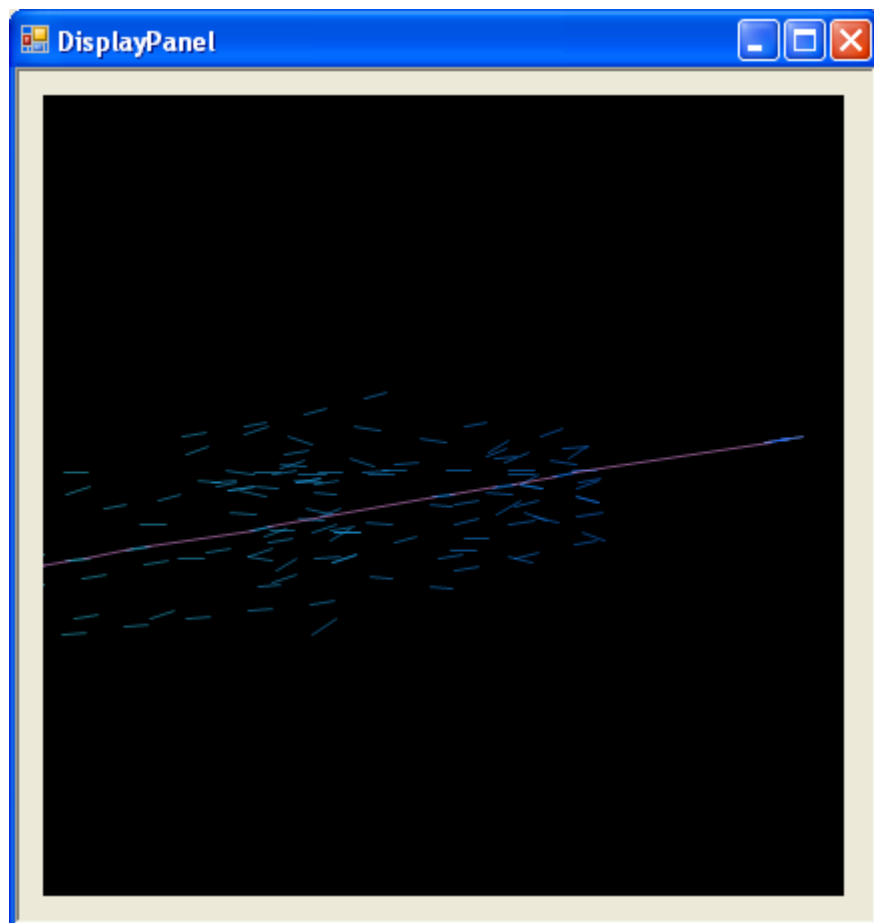


Рис.24 (а) Предположительное продолжение трека.

На вопрос: Продолжить ли трек, используя найденные сегменты? Нужно ответить: «Да», если результат работы автоматки разумен, и «Нет», если результат неудовлетворительный. Если ответ будет «Да», то на DisplayPanel можно построить продолженный трек.

Чтобы проще было его просмотреть можно установить внизу флажок Highlight, продолженный трек высветится ярче Рис. 24 (б).



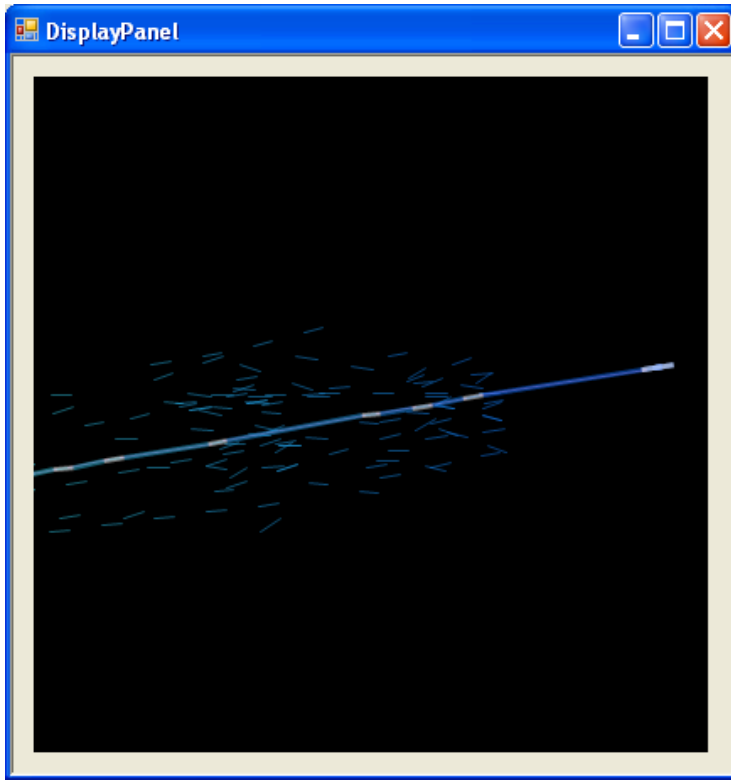


Рис. 24 (б). Продолженный трек.

### 3.2.2. Определение точки остановки трека и области конца трека.

На следующем этапе нам нужно проследить найденный трек до конца. С помощью кнопок `SetFocus` и `Zoom` в окне `Display` найти конец трека , Рис. 25.

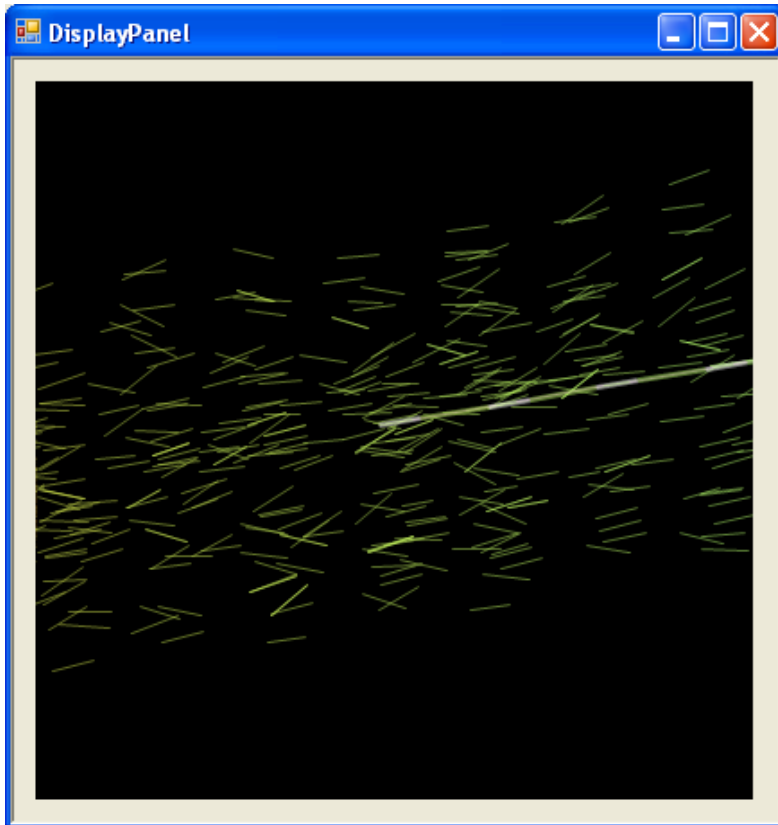


Рис.25. Обнаружение конца трека и области возможной вершины взаимодействия.

Вращаем картинку на `DisplayPanel` (с помощью мышки) , пытаемся увидеть сегменты треков, которые

можно связать в треки, сходящиеся в точку (вершину) вблизи конца основного трека №692, см. Рис. 26.

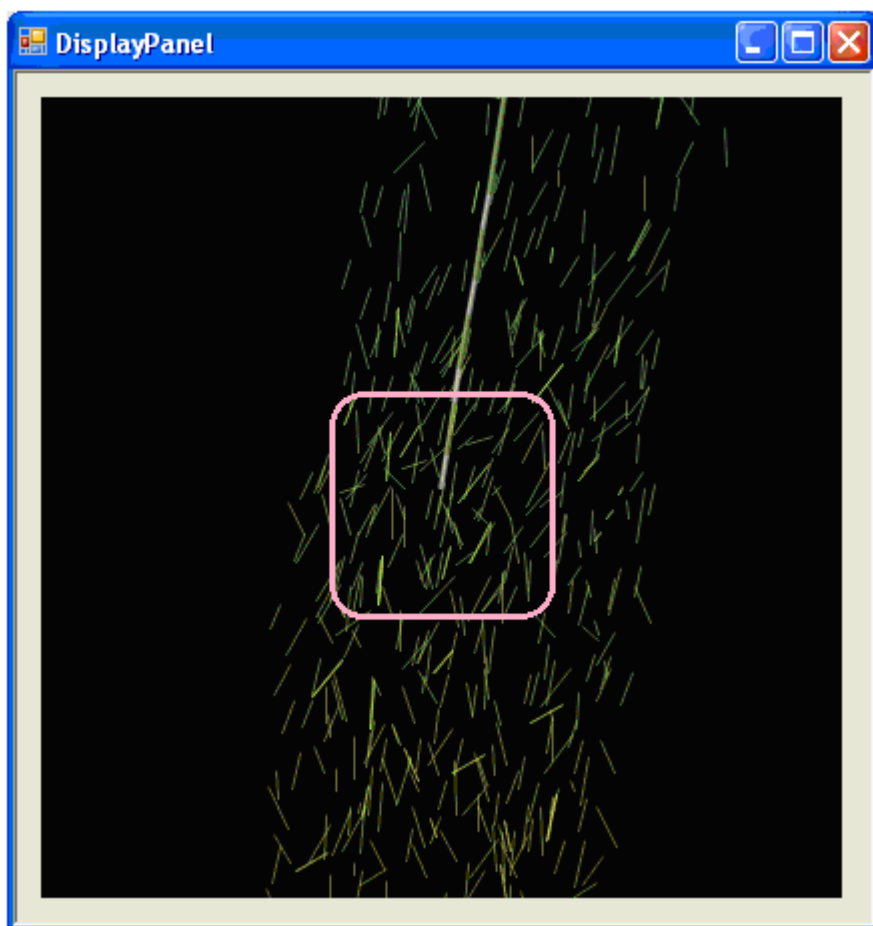


Рис.26. Поиск треков, сходящихся к единой вершине.

### 3.2.3. Выделение предварительной вершины.

На данном этапе можно задать некоторую "предварительную" вершину. Зададим ее как точку на аппроксимации трека №692 Рис. 27.

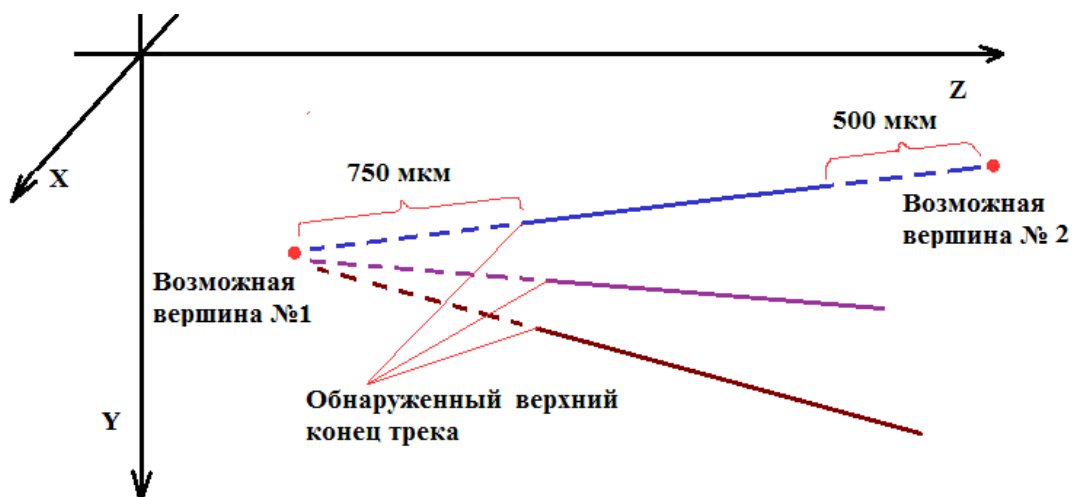


Рис.27. Схема задания расположения предварительной (пробной) вершины.

В **TrackBrowser** активируем **Feedback** и нажимаем **Add single-prong vertex**. При первом нажатии кнопки **Add single-prong vertex** (см. Рис. 28) добавляется предварительная вершина на расстоянии -750 мкм (т.е. выше верхнего конца трека) от обнаруженного конца трека, второе нажатие **Add single-prong vertex** добавляет вершину на расстоянии 550 мкм от нижнего конца трека. Таким образом, выбранная вершина очень приблизительно отражает расположение истинной вершины, но может помочь в поиске подходящих треков, которые составляют событие.

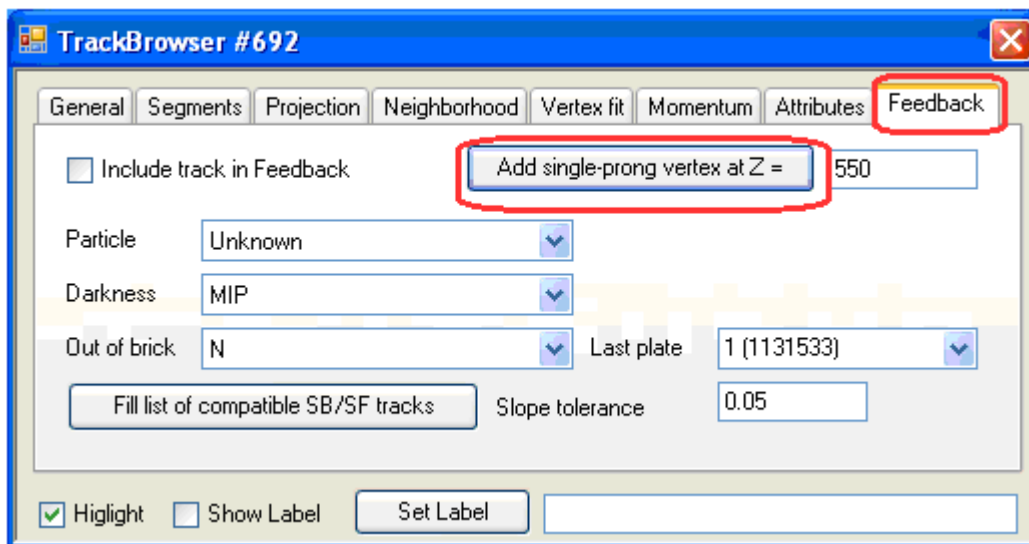


Рис. 28. Процедура задания предварительной вершины.

Для работы с вершиной необходимо перейти к окну VertexBrowser. Окно VertexBrowser, Рис.29 можно вызвать тремя способами.

**Первый** – кликаньем мышкой по вершине (нужно попасть строго в вершину, чаще всего открывается TrackBrowser какого-либо трека);

**Второй** – в TrackBrowser (соответствующего трека) – General - Go to Upstream Vertex.

**Третий** – в окне Display под списком выбора объектов в поле рядом с Graph from Vx # ввести номер вершины и нажать кнопку « > ».

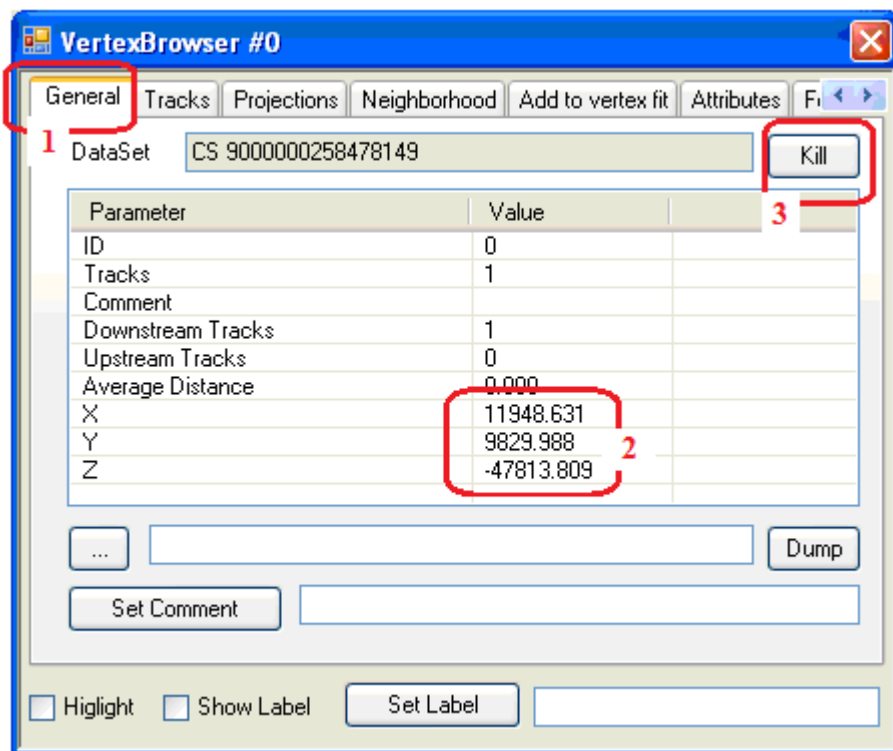


Рис. 29. Вывод основной General (область 1) информации о предварительной вершине. Нужно обратить внимание на координаты XYZ этой вершины (область 2). На этом же рисунке выделена кнопка Kill (область 3) - удаление вершины, понадобится позже.

Если внимательно рассмотреть результат присвоения и визуализации вершины, Рис.30, то можно увидеть, что треки сходятся не к этой вершине, а к точке, находящейся на два эмульсионных слоя глубже.

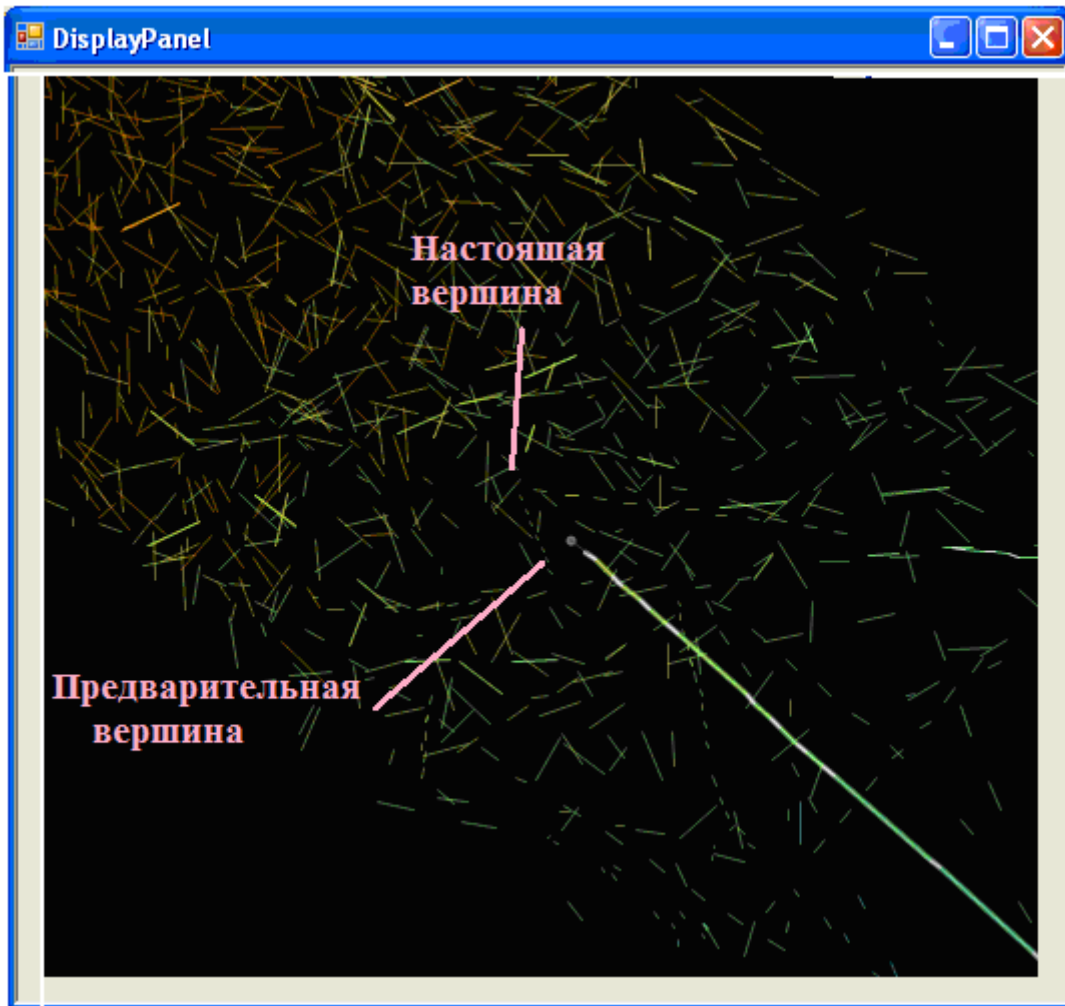


Рис.30 . Предварительная вершина и возможная настоящая (истинная) вершина.

Уничтожаем найденную вершину - Рис.29, кнопка Kill ( 3).

В окне `TrackBrowser` (вкладка `Feedback` ) прослеживаемого трека изменяем координаты области поиска примерно на две пластины глубже - нажимаем на `Add single-prong vertex at Z=-3100`, что означает, что вершина поставлена на расстоянии 3100 мкм от конца трека.

Сравните координаты вершины (величины XYZ), приведенные на Рис.29, ( 3) и на Рис.31.

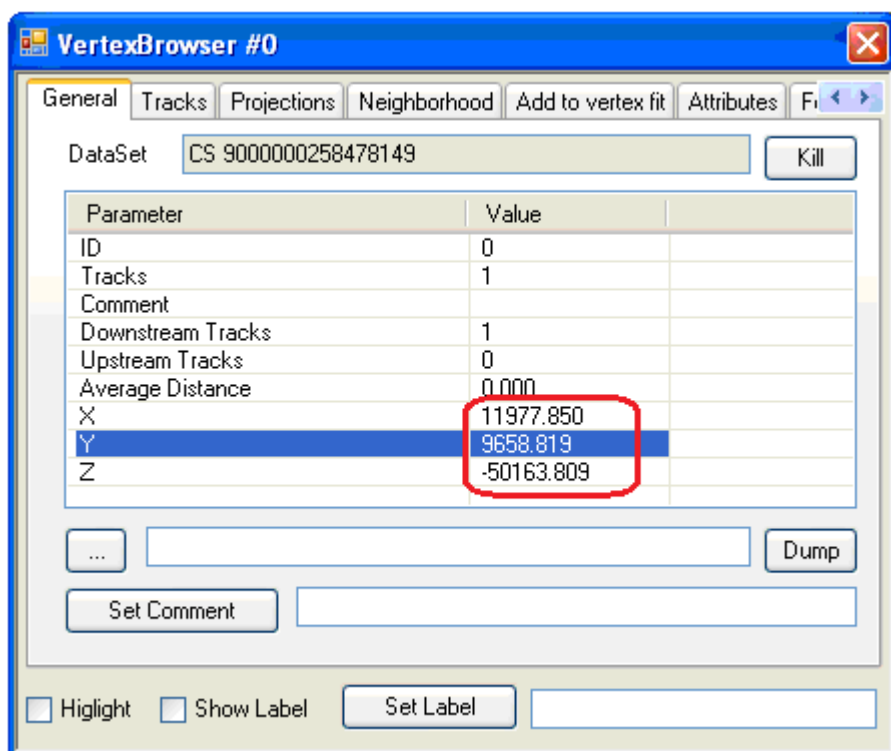


Рис. 31. Координаты уточненной вершины.

Вся описанная процедура с подгонкой вершины в ручном режиме необходима для того, чтобы не пропустить треки, относящиеся к событию, к вершине.

### 3.2.2. Поиск треков, относящихся к событию.

Для поиска треков, имеющих отношение к данной вершине можно во вкладке Neighborhood в VertexBrowser заново созданной вершины нажать на Related tracks (предварительно убедиться, что в окне Display в панели выбора объектов выбраны Tracks и Related Segments).

На DisplayPanel видим: 1) новую вершину; 2) подсвеченный трек №692;

3) два участка соединенных сегментов трека №111, сходящихся к вершине (1), Рис.32.

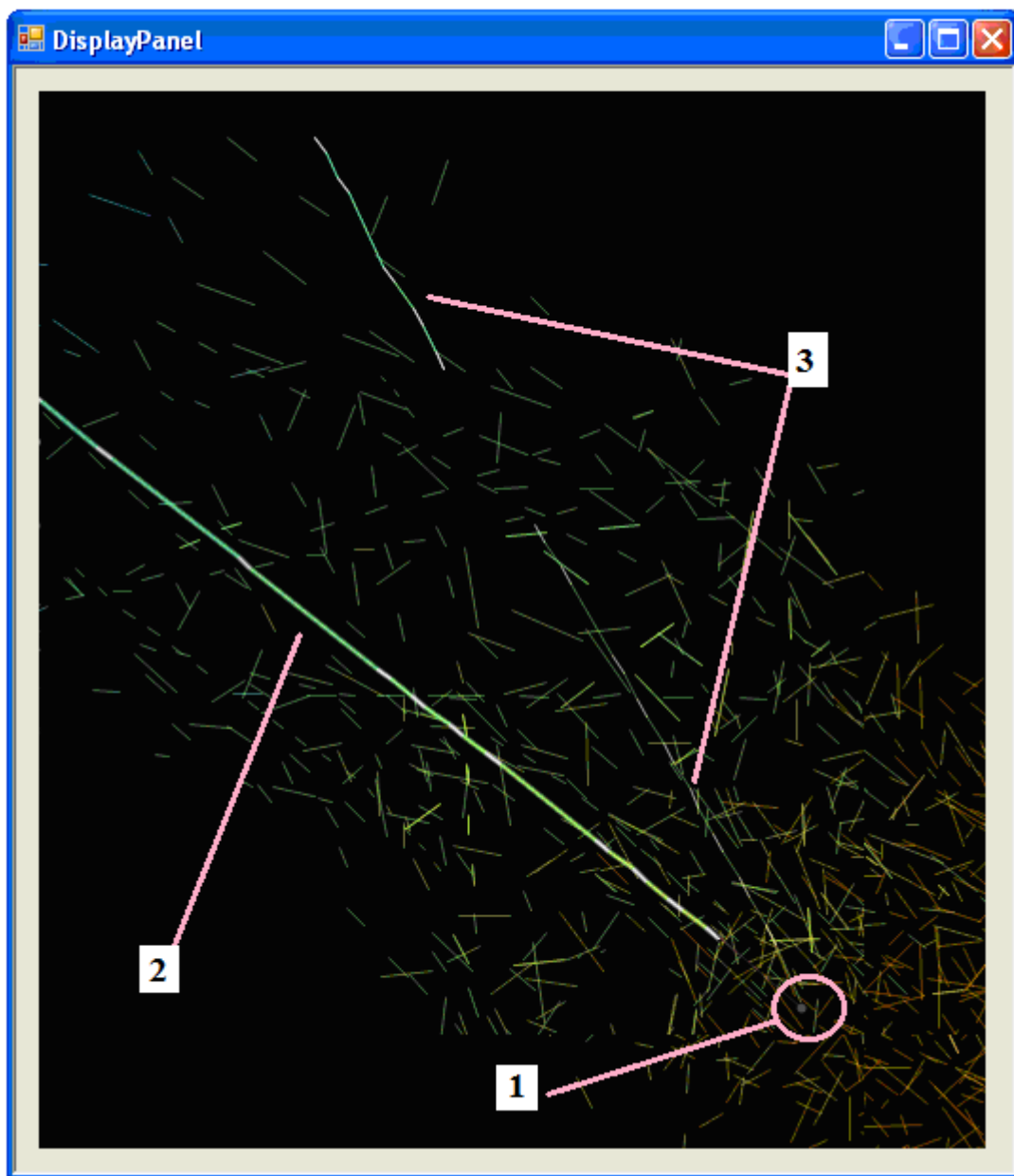


Рис.32: Видим: (1) новую вершину; (2) подсвеченный трек №692;  
3) два участка соединенных сегментов трека №111 , сходящихся к вершине (1),

Дальше – проверяем, есть ли ещё треки, лежащие вблизи вершины, но не обнаруженные автоматикой.  
На Рис.32 выделены сегменты такого трека, идущего из области вершины.



Рис.32. Сегменты найденного трека.

На самом деле, вся процедура поиска и уточнений координат вершины заметно облегчена. Если при построении глазом видны два сходящихся трека, то можно проверить, насколько далеко ни проходят друг от друга. Для этого в окне Display задаем произвольное имя новой аппроксимации вершины (напр. Vert 1), относительно которой будут вычисляться прицельные параметры, Рис.33.

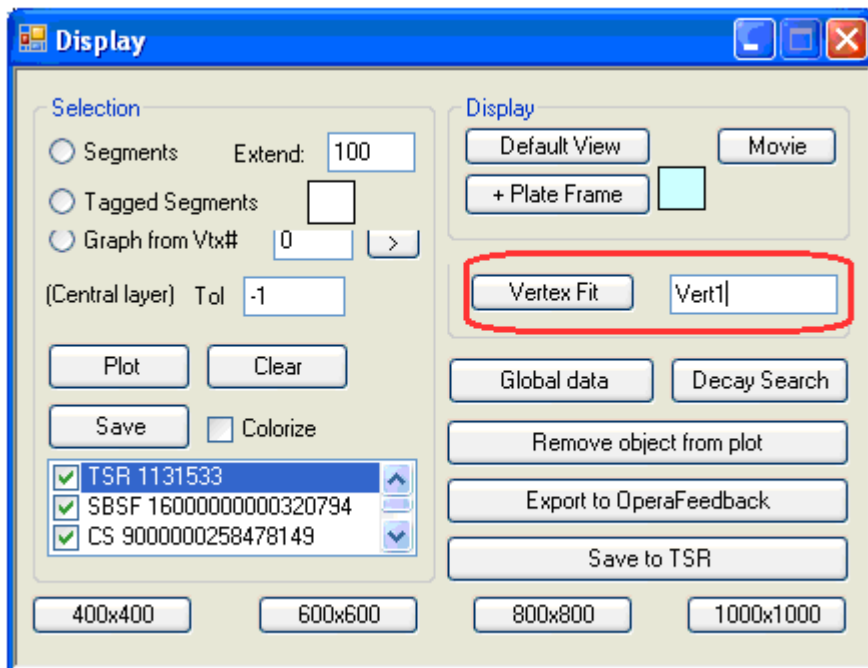


Рис.33. создание аппроксимации вершины с новым именем Vert1.

Открывается окно аппроксимации новой вершины Vert1, Рис.34.

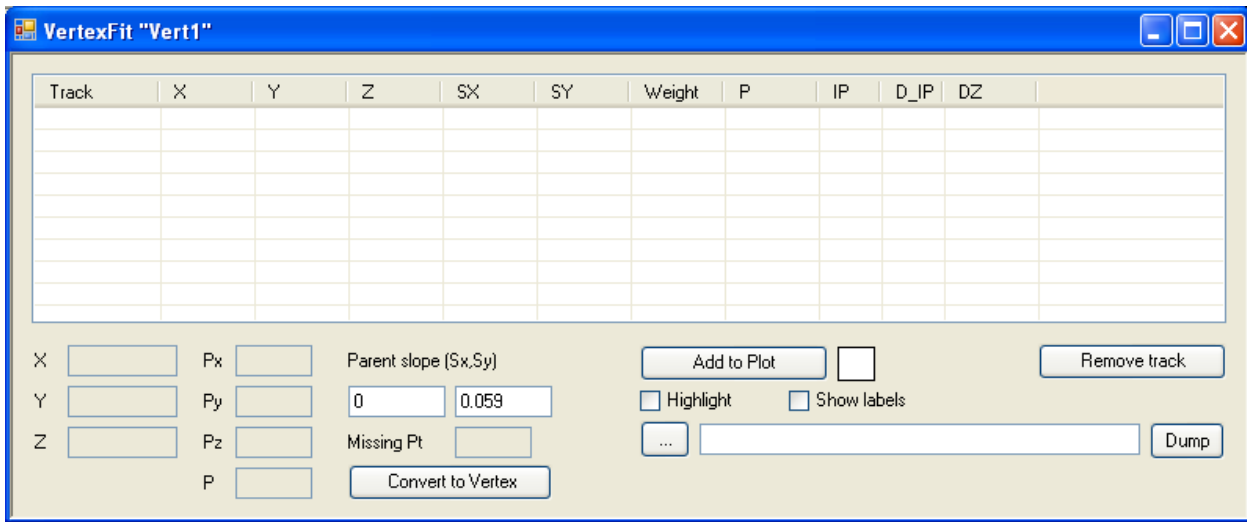


Рис. 34. Окно VertexFit вершины Vert1.

Теперь нужно проверить сходятся ли три найденных трека к выбранной нами аппроксимации Vert1 с хорошим прицельным параметром. Пока ни одного трека не добавлено, аппроксимация пуста, координаты не вычислены. Добавление любого трека изменяет параметры аппроксимации. Для каждого трека в TrackBrowser, Рис. 35 (нужно внимательно следить, чтобы высветился TrackBrowser именно для нужного трека (1)) на панели Vertex fit выбираем нужную аппроксимацию из списка (один трек можно проверить на принадлежность к нескольким возможным вершинам) Vert1 (4). Выбираем максимальное расстояние до вершины (по умолчанию это 3900 мкм – три пластины) и указываем какой конец трека рассматривается Upstream (5) (в нашем случае, так как нам нужно искать вершину в направлении уменьшения номеров пластин) или Downstream.

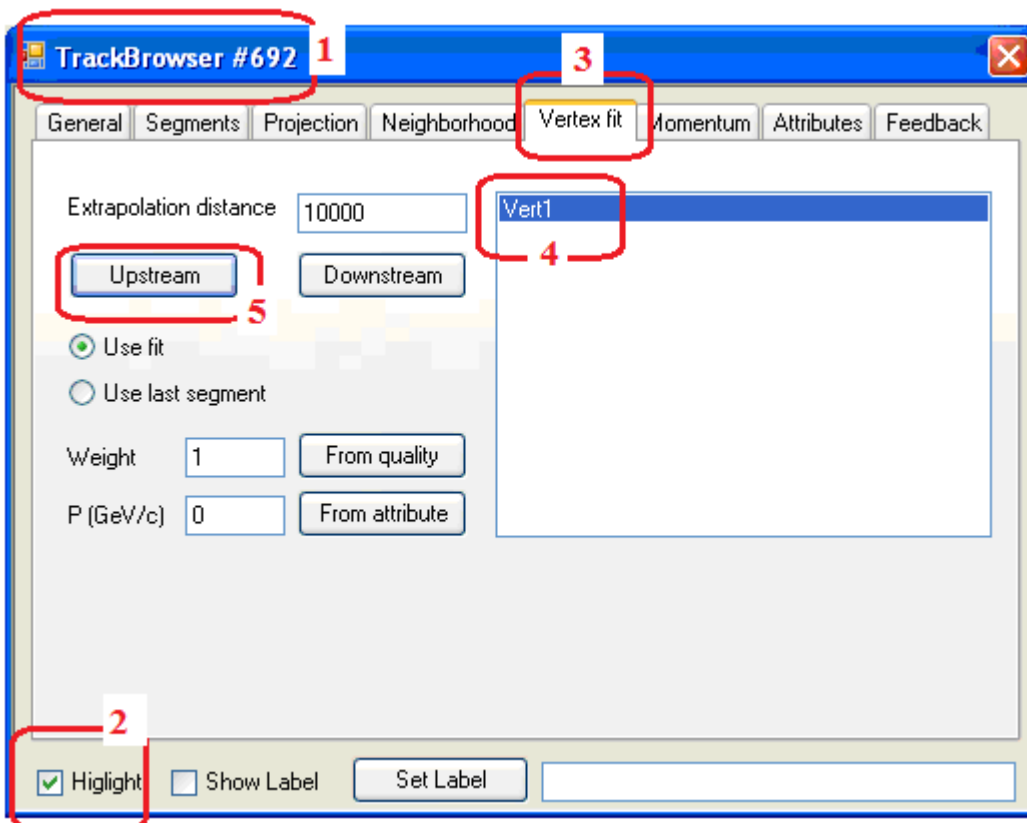


Рис.35. Работа с аппроксимацией вершины.

После добавления всех проверяемых треков в окне VertexFit "Vert1", (Рис. 36) саму вершину (её положение и продолжения треков) можно построить кнопкой Add to plot (в окне рядом можно выбрать цвет вершины, если проверяется несколько разных приближений вершины) (рис.36)

Проверяем свойства собранных в вершину треков. Если все треки удовлетворительно (с небольшим  $IP <$



50 мкм, величина IP оговаривается особо для разных событий) сходятся к вершине, нажимаем Convert to Vertex, что создаст новую вершину и передаст ей треки. У трека не может быть более двух вершин. Поэтому у трека №692 новая вершина заменит старую. Старая вершина, если к ней не подходят треки, будет автоматически удалена.

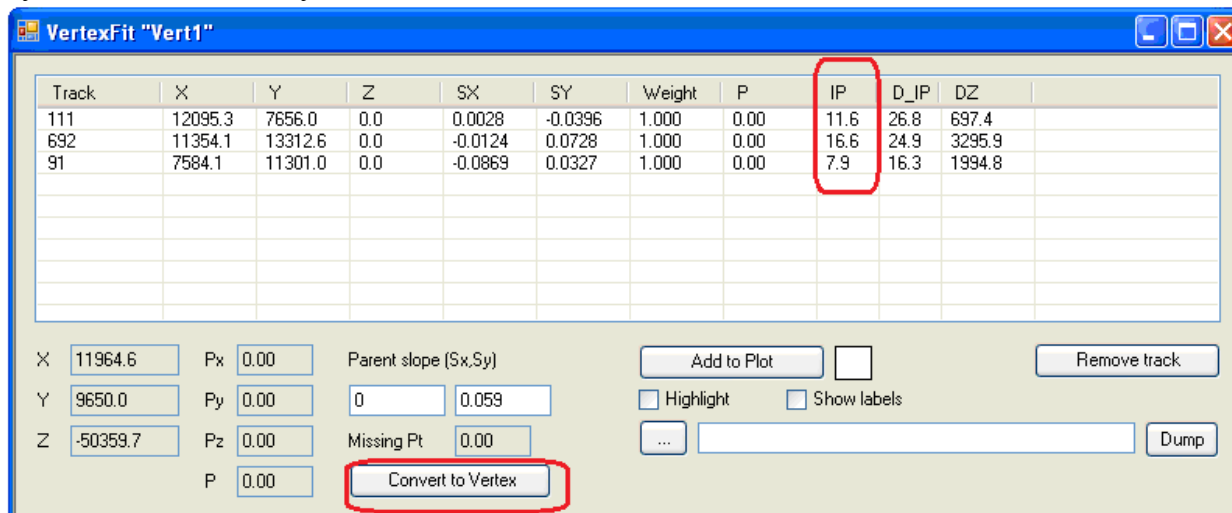


Рис. 36. Окно VertexFit . Проверка удовлетворительной сходимости треков к вершине.

Активируем DisplayPanel, Рис. 37. Видим три трека, сходящиеся к вершине. Нужно проверить, нет ли треков, сходящихся к вершине, которые пока не найдены.

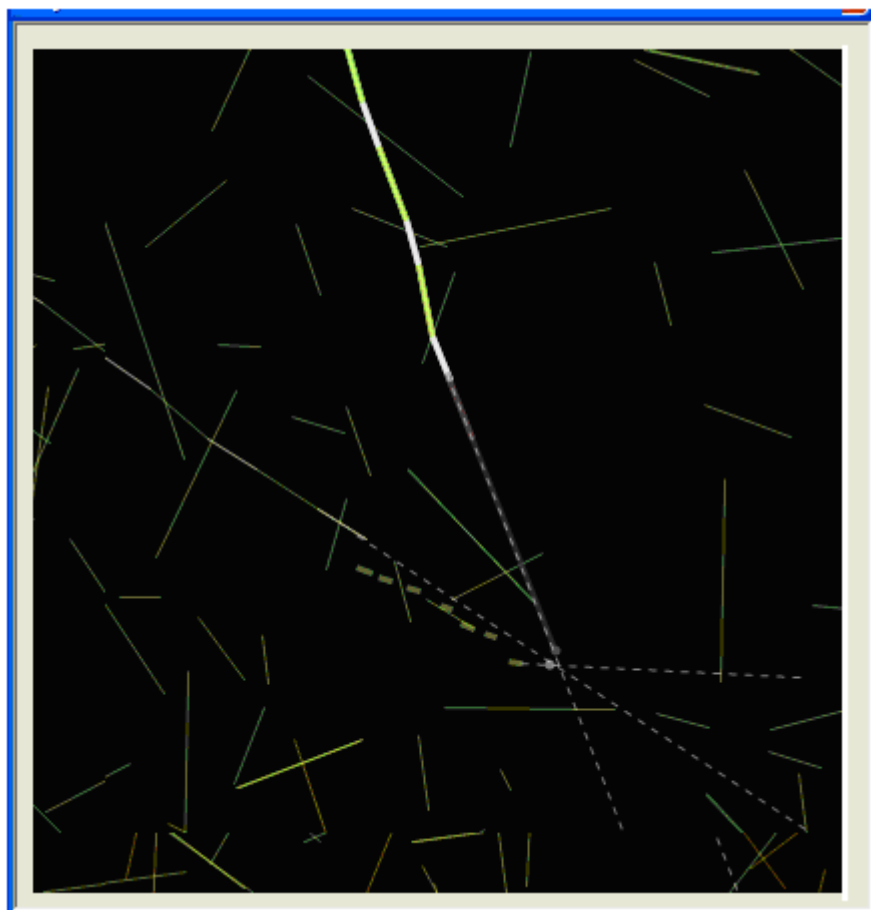


Рис. 37. Три трека, сходящиеся к единой вершине.

### 3.2.4. Поиск потерянных автоматикой треков, сходящихся к вершине.

Мы должны проверить, подходит ли к этой вершине еще какой-нибудь трек.

Открываем информацию о вершине, окно VertexBrowser, Рис.31. Открылась вершина №0.

Это можно сделать тремя способами.

1. Кликать мышкой по вершине (трудно попасть, но можно)
2. Кликать мышкой на трек - активировать его TrackBrowser - General - Go to Upstream Vertex
3. Через основное окно Display. Опция Graph from Vt# - и указать номер нужной вершины.

Повторяем процедуру поиска подходящих к вершине треков. Если новых треков не обнаружено или обнаружены явно не относящиеся к событию треки, то

Проверяем, что все треки, хорошо согласующиеся с вершиной помечены как Feedback, (см.напр. Рис.39.)

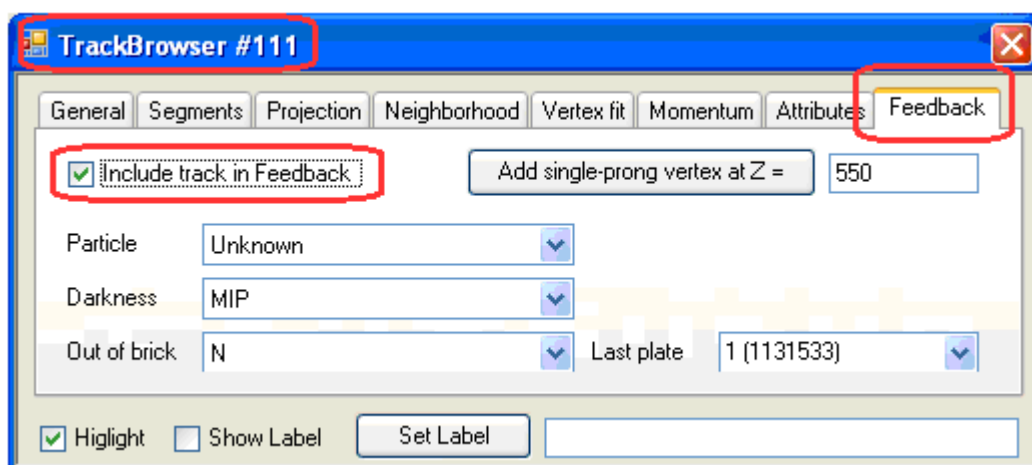


Рис.39. Окно TrackBrowser для трека №111. Последовательно активируем опцию Feedback и ставим флажок Include track in Feedback.

Проверить все ли треки добавлены можно очистив экран и построив треки с фильтром event.

Найденную вершину временно ликвидируем (иначе возникают накладки), и (VertexBrowser - General - Kill, Рис.40.)

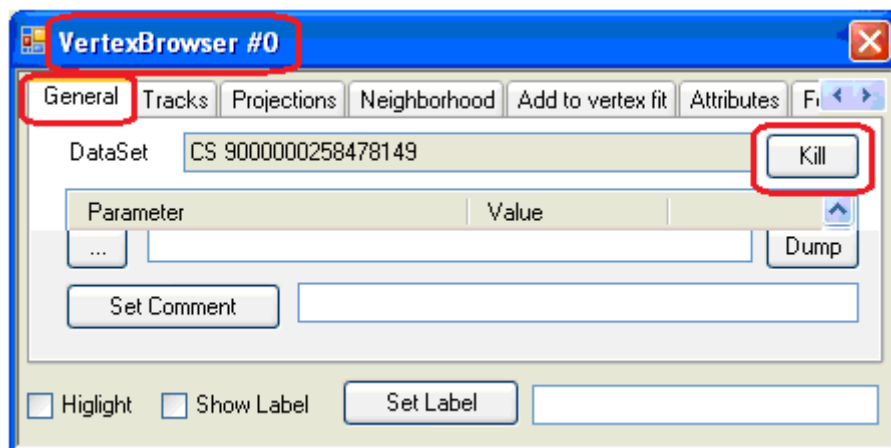


Рис.40. Ликвидация вершины #0.

На основной панели Display (правый нижний угол) активируем Save to TSR с новым именем, например student.tsr, Рис.41.

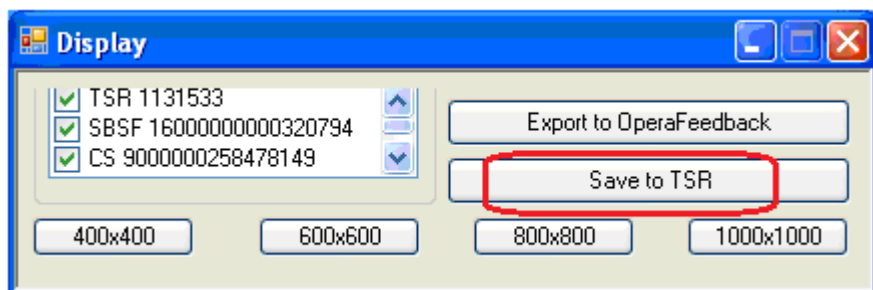


Рис.41. Запись информации о найденных треках и вершинах в файл student.tsr .

## Подведем основной итог сделанной работе.

Мы нашли трек, начало которого было задано сегментом трека на съемной пластине CS, т.е. проследили его через множество эмульсионных слоев, предположили, где находится вершина события, заметили, что есть несколько треков, которые сходятся к этой вершине. Напомним, что сначала мы работали с сегментами треков (см. Рис.17), а затем перешли к работе с треками, собранными их сегментов.

## Последний этап сбора события.

Мы должны загрузить файл, полученный на предыдущем шаге, student.tsr. На Рис. 42 указана последовательность действий.

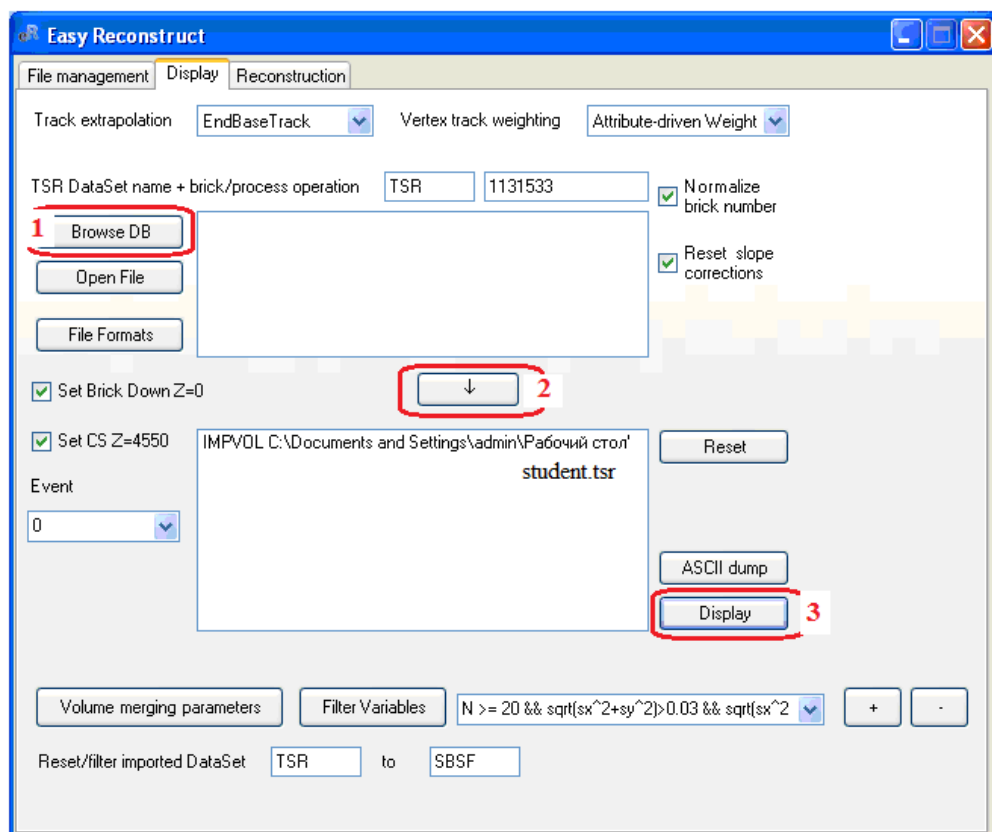
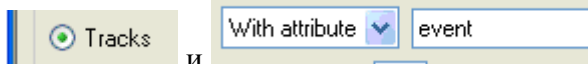


Рис.42. Последовательность действий, необходимая для загрузки базы student.tsr

На панели Display активируем



и

. Т.е. работаем с треками, у

которых есть атрибут EVENT.

Результат видим на Рис. 43. Можно отметить следующие особенности: 1. На Рис.43 не нарисован третий

трек, который был найден ранее (мы забыли пометить его как EVENT ); 2. Не обозначена вершина взаимодействия.

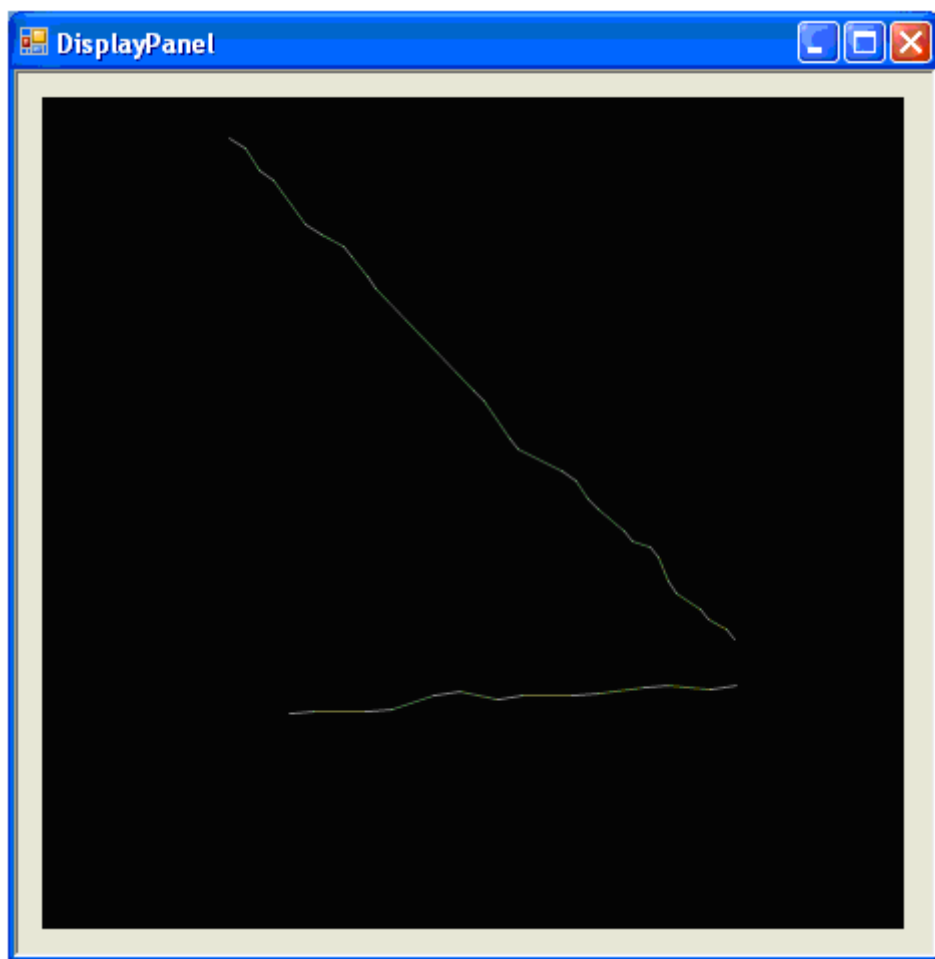


Рис.43. Изображение двух треков (ОПОРНЫХ) из базы student.ru.

Кликаем мышкой по более длинному треку. Именно его мы на предыдущем этапе прослеживали от CS через все эмульсионные пластины. Окрывшееся окно TrackBrowser выводит информацию об этом треке. При загрузке новой базы данных информация о номере трека не сохранилась. Ранее мы видели этот трек под номером 692, сейчас он идентифицируется под номером 1085, см.Рис.44.

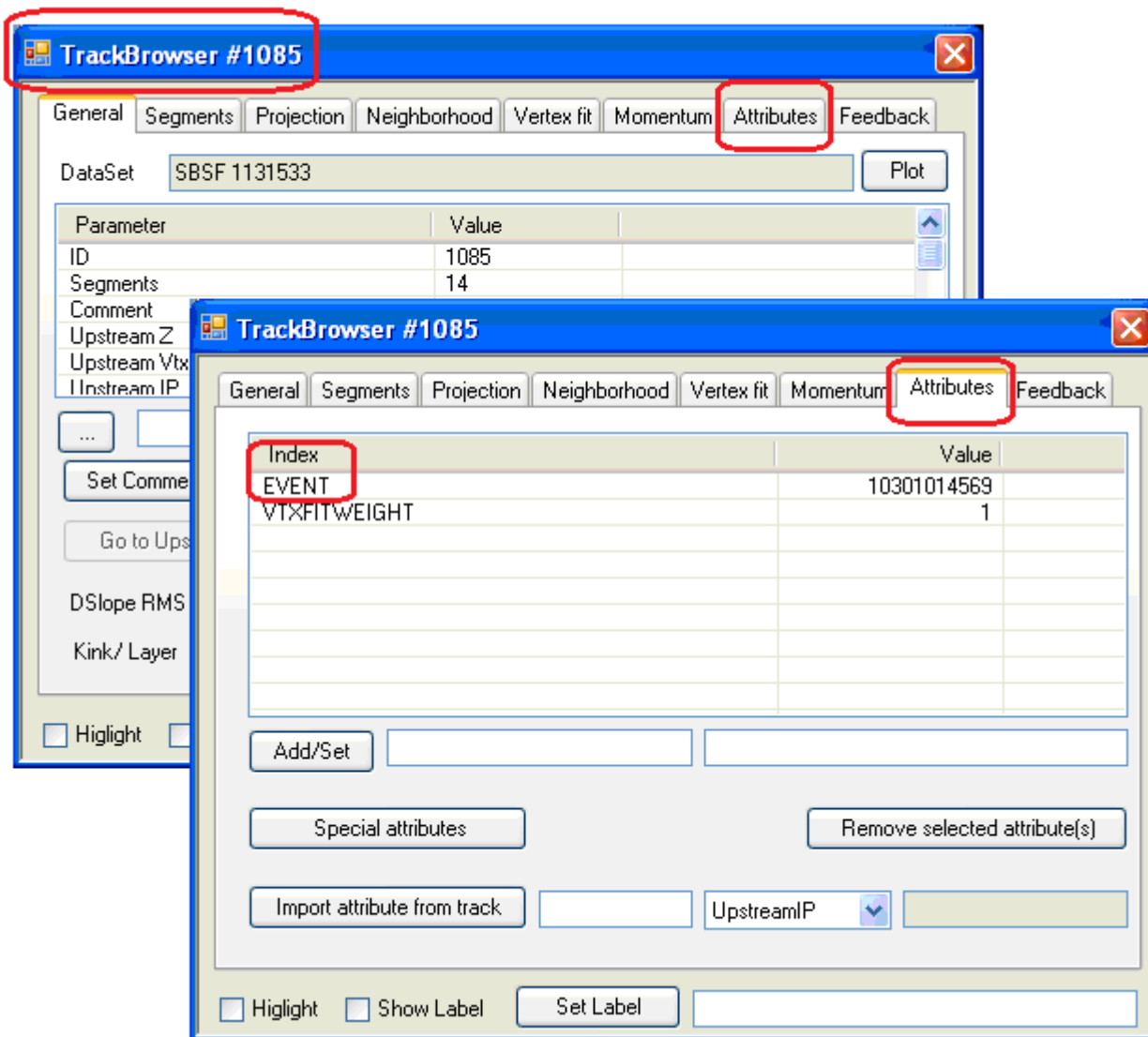
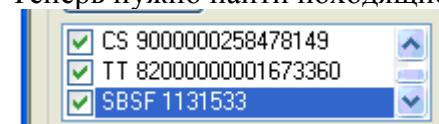
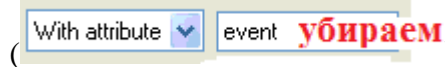


Рис.44. Информация об основном треке.

Теперь нужно найти подходящие треки из других баз (их имена видны на основной панели Display).



. На этой же панели нужно убрать атрибут EVENT у искомым треков



, т.к. это свойство новым трекам еще не присвоено.

На панели TrackBrowser #1085 активируем Neighborhood и последовательно подключаем подходящие треки из других баз данных, Рис.45. Можно видеть, что к событию подключается трек 154 из базы TSR 1131533 (SBSF 1131533).

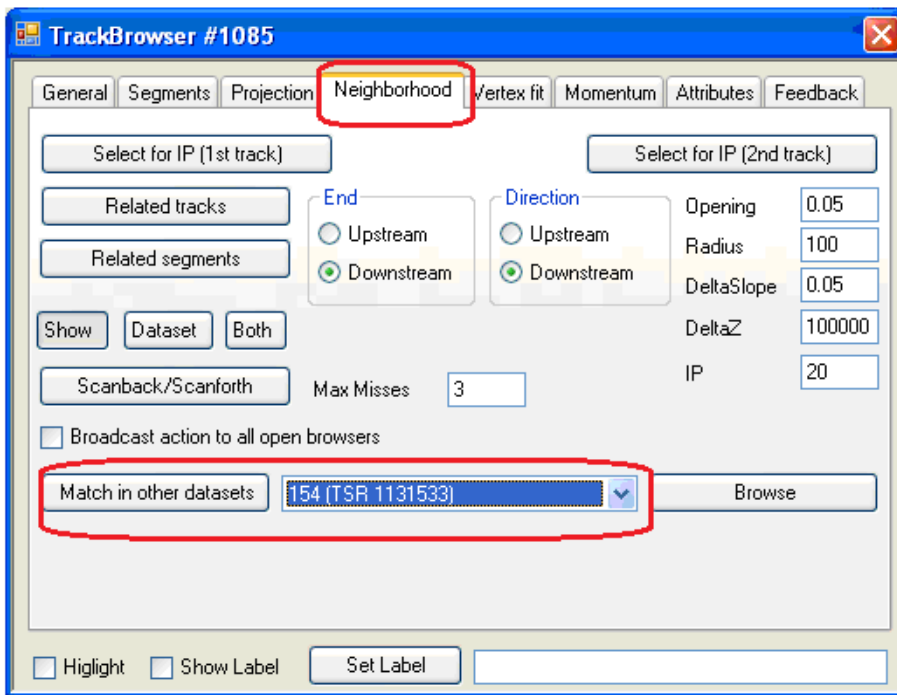


Рис.45. Подключение трека из базы TSR 1131533 (SBSF 1131533).

В окне TrackBrowser #1085 активируем General и Plot. Добавочный трек видим на DisplayPanel, Рис.46. С помощью атрибута Highlight, его можно подсветить. Можно отметить, что вновь добавляемые треки имеют вершину!

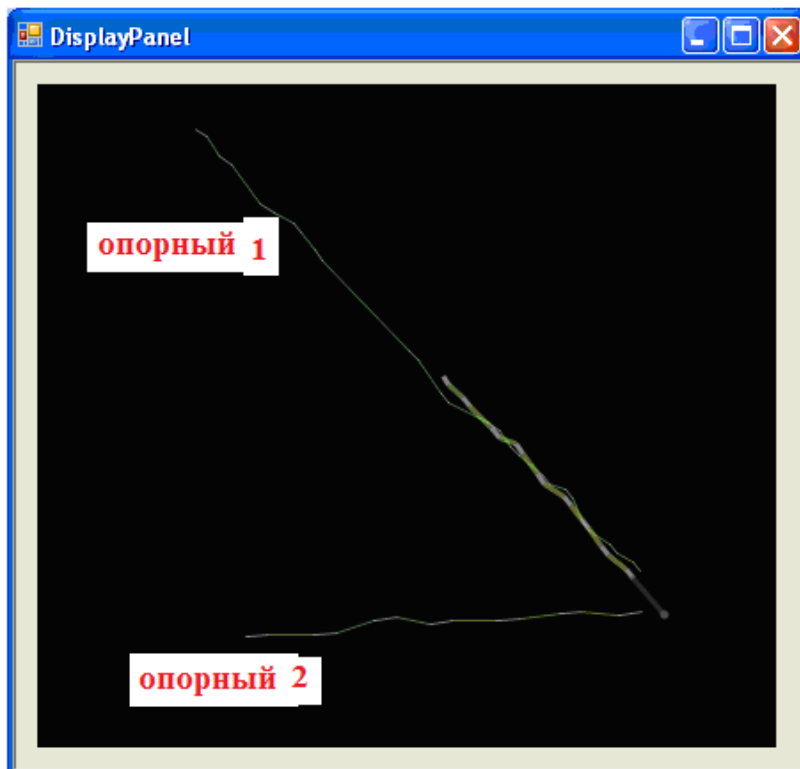


Рис. 46. Изображение двух опорных треков из базы student.tsr и одного трека из базы TSR 1131533 (SBSF 1131533) - нарисован более ярко.

Подобную процедуру повторить для всех опорных треков, которые были загружены из student.tsr

Если дополнительные треки успешно находятся, то в опорных снимается атрибут Feedback, Рис.47.

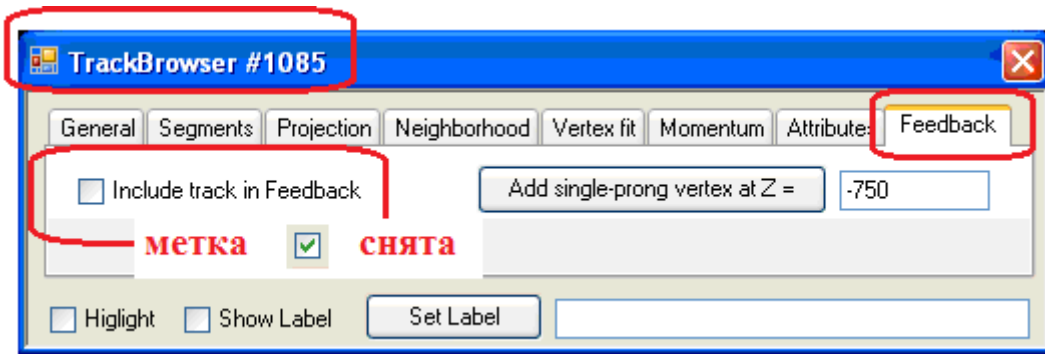


Рис.47. Снятие атрибута Feedback у опорного трека #1085.

У вновь найденных треков атрибут Feedback устанавливаем. Трек будет иметь свойство EVENT. Рис.48.

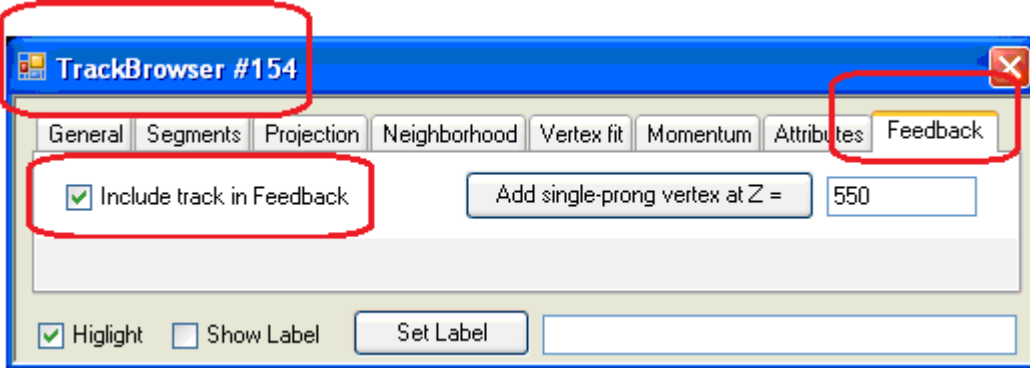


Рис.48. Атрибут Feedback у трека #154 установлен.

Рассматриваем второй опорный трек с номером №1105. База данных выводит два трека, или участка трека 285 и 491, подходящие по характеристикам треку №1105, Рис. 49.

Кнопкой Browse загружаем информацию о треках.

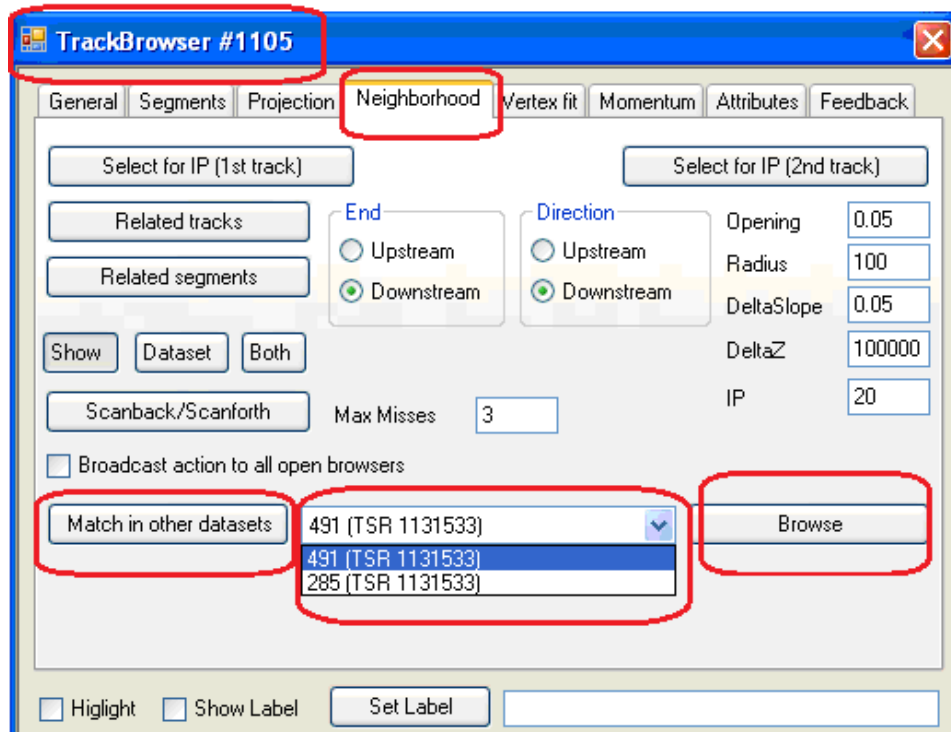


Рис.49. Подключение подходящих опорному треку №1105 треков 491 и 285 из базы TSR 1131533 (SBSF 1131533).

Чтобы нарисовать трек 491, в **TrackBrowser** активируем **General** и **Plot**.

Ту же самую процедуру проделываем для трека 285. Трек 285 подсвечиваем кнопкой Highlight.

Рассматриваем DisplayPanel, Рис. 50.

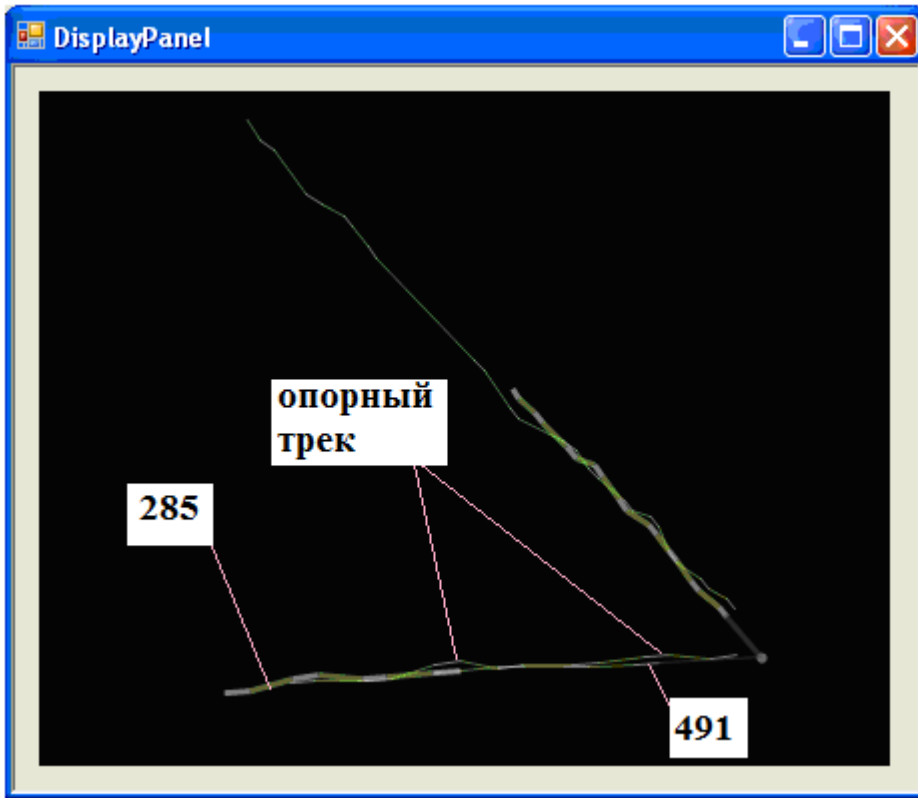
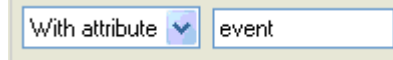


Рис. 50. Опорный трек #1105 и треки, выбранные из базы (285 и 491).

Можно увидеть, что участок 285 является продолжением трека 491.

**Дальше нам надо нарисовать всю схему без опорных треков.**

Пересоздаем картинку, вспоминая, что опорные треки НЕ имеют атрибута EVENT, а подшитые из базы треки (491 и 154) ИМЕЮТ атрибут EVENT. На основной панели Display указываем



, далее кнопки **Clear** и **Plot**.

**Следующий шаг.** Активируем информацию о вершине - VertexBrowser (кликаем мышкой по точке вершины). Активируем опцию Tracks и получаем список треков, сходящихся к этой вершине, которые можно выделить из базы данных, Рис.51.



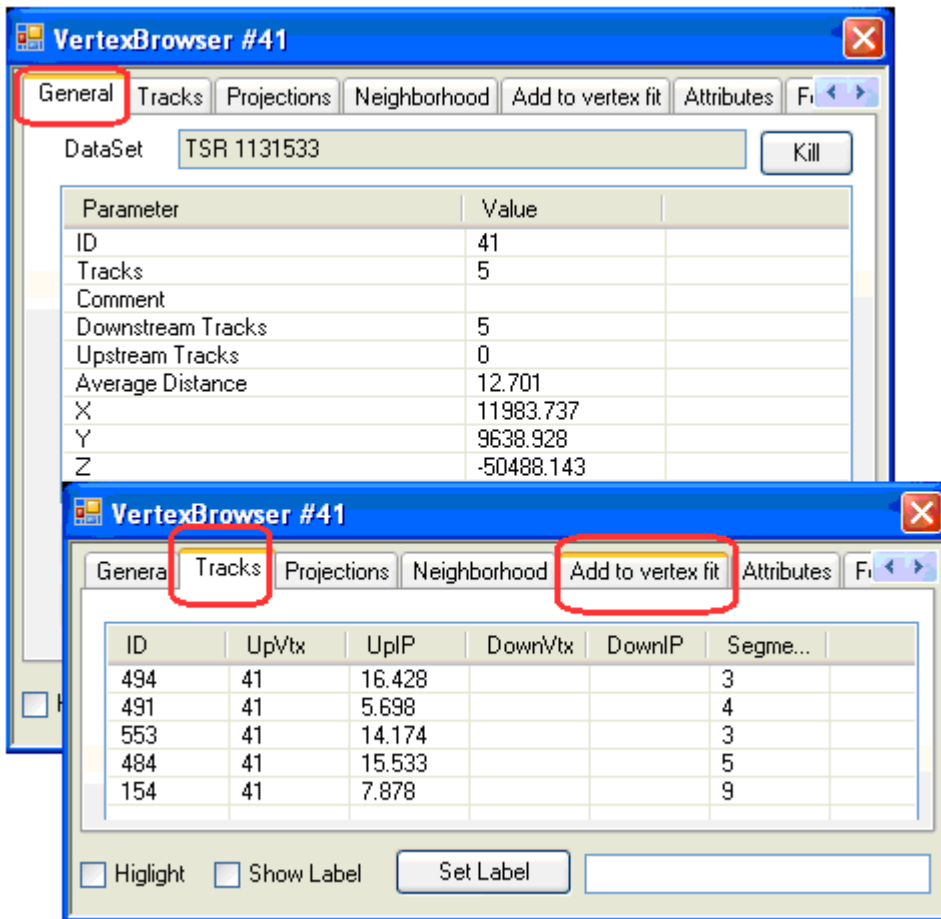


Рис.51. Активация VertexBrowser и информации о треках, сходящихся к вершине.

На основной панели Display удаляем опцию EVENT, снимаем значок  с файла SBSF1131533 (нам не нужны треки, продолженные от CS).

На панели VertexBrowser активируем Neighborhood, Рис. 52. Далее вызываем Related tracks. Можно попробовать Downstream и Upstream - поиск сегментов треков вниз и вверх по номерам эмульсионных пластин.

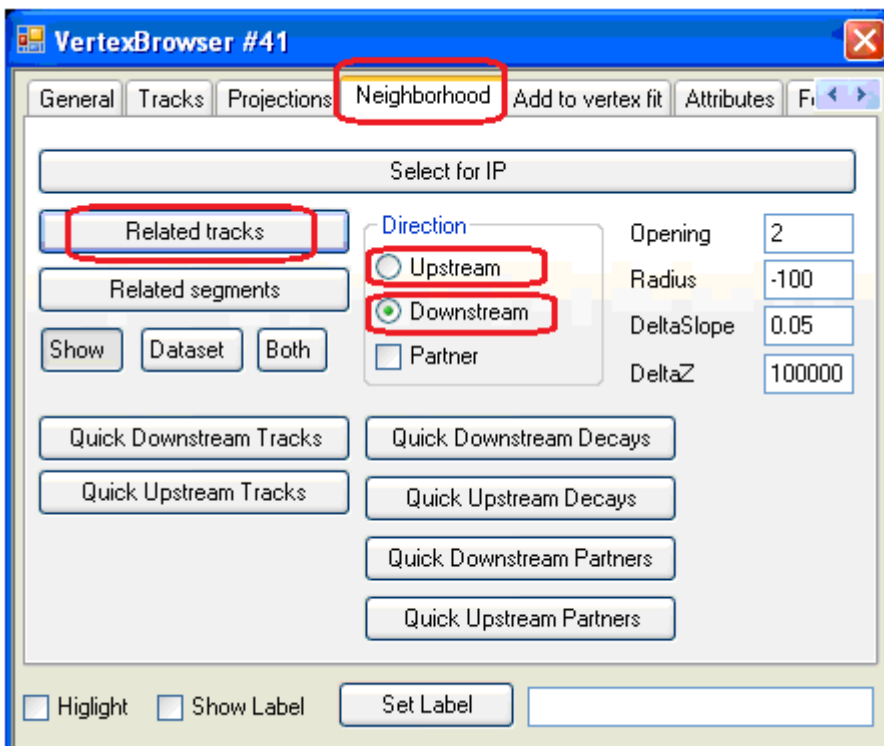


Рис.52. Схема поиска дополнительных треков, сходящихся к вершине #41 (правильнее сказать

исходящих из вершины #41). Результат - на панели Display, Рис. 53.

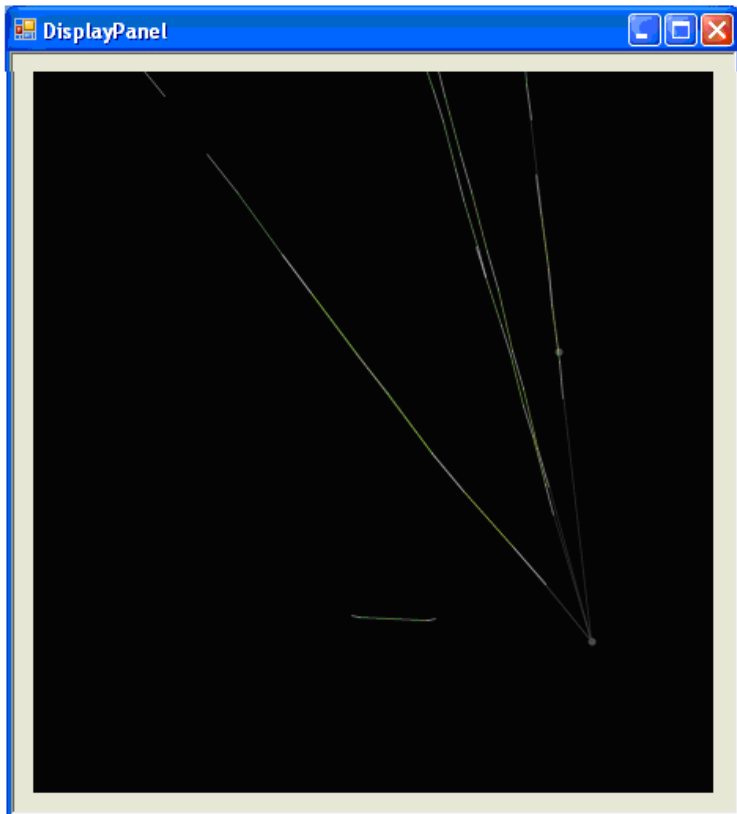


Рис.53. Результат поиска треков, сходящихся к вершине #41.

На Рис.53 видны участки и сегменты треков, несшитые в единый трек и несведенные к вершине. Задача: соединить участки треков в единый трек и связать с вершиной.

Освоим новую процедуру обращения к TrackBrowser.

В VertexBrowser выбираем Tracks и видим список сходящихся к вершине треков, Рис.54.

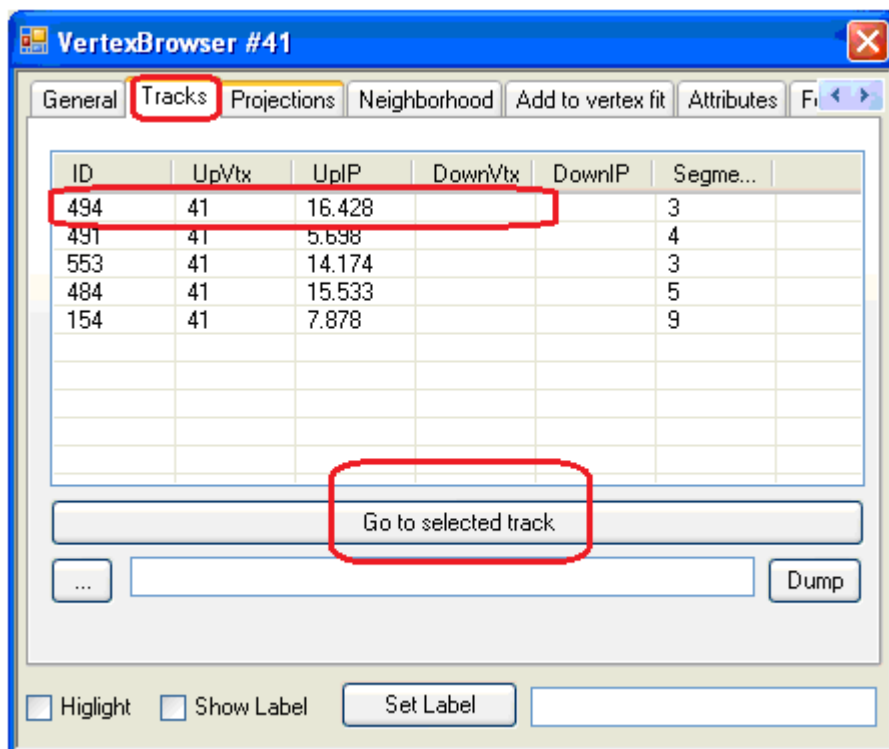
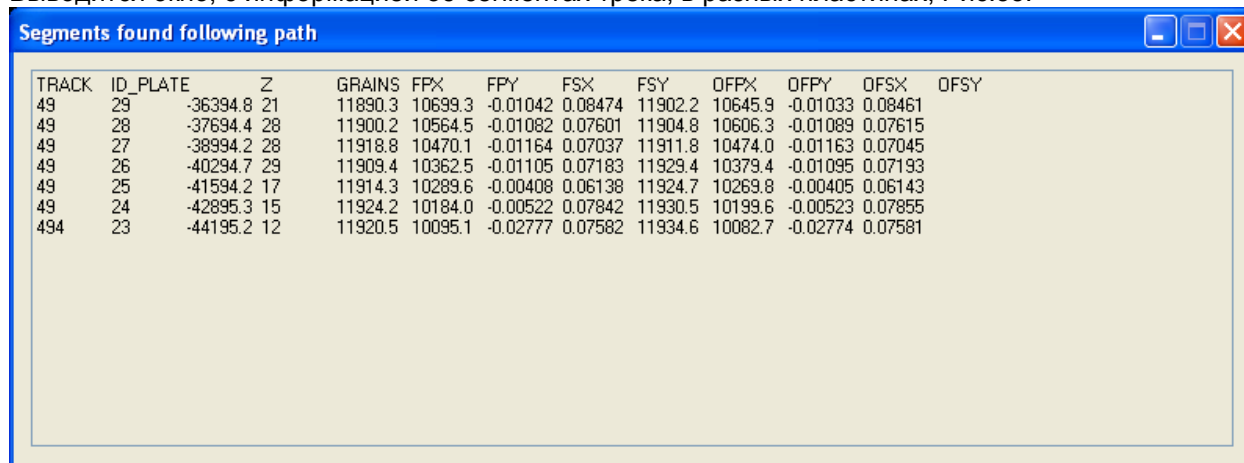


Рис. 54 Список треков, сходящихся к вершине #41.

Мышкой высвечиваем строку, соответствующую нужному треку и активируем Go to selected track. Начинаем с трека 494. Активируется окно TrackBrowser #494, Рис. 54.

В окне **TrackBrowser #494** выделяем **Neighborhood** и, далее, Scanback/Scanforth. Выводится окно, с информацией об сегментах трека, в разных пластинах, Рис.55.



TRACK	ID_PLATE	Z	GRAINS	FPX	FPY	FSX	FSY	OFFX	OFFY	OFFSX	OFFSY
49	29	-36394.8	21	11890.3	10699.3	-0.01042	0.08474	11902.2	10645.9	-0.01033	0.08461
49	28	-37694.4	28	11900.2	10564.5	-0.01082	0.07601	11904.8	10606.3	-0.01089	0.07615
49	27	-38994.2	28	11918.8	10470.1	-0.01164	0.07037	11911.8	10474.0	-0.01163	0.07045
49	26	-40294.7	29	11909.4	10362.5	-0.01105	0.07183	11929.4	10379.4	-0.01095	0.07193
49	25	-41594.2	17	11914.3	10289.6	-0.00408	0.06138	11924.7	10269.8	-0.00405	0.06143
49	24	-42895.3	15	11924.2	10184.0	-0.00522	0.07842	11930.5	10199.6	-0.00523	0.07855
494	23	-44195.2	12	11920.5	10095.1	-0.02777	0.07582	11934.6	10082.7	-0.02774	0.07581

Рис.55. Информация о сегментах трека.

На картинке **DisplayPanel** видим сшитые сиреневой линией сегменты трека 494, сведенные к вершине, Рис.56.

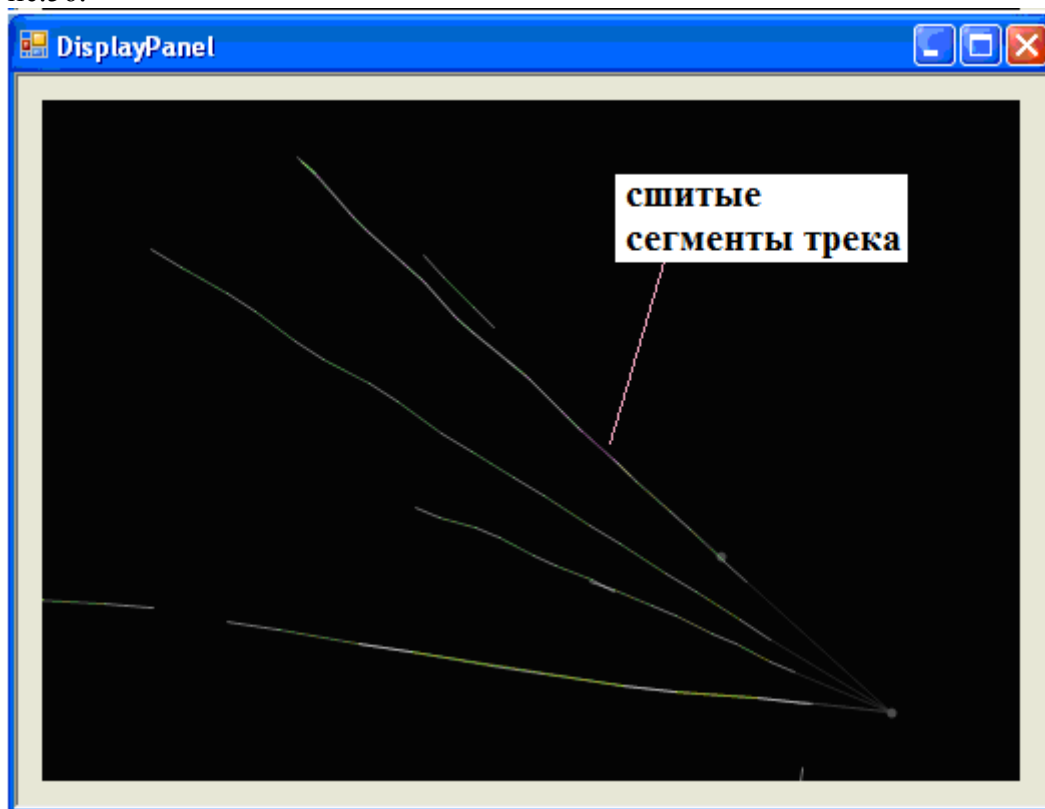


Рис. 56. Показаны сшитые сегменты трека #494, исходящего из вершины.

Такую же процедуру необходимо провести с каждым из треков, указанных на Рис. 54. Некоторые из них придется исключить из рассмотрения, так как окажется, что они дублируют уже найденные треки. Собранное событие представлено на Рис. 57. Мы получили событие, в котором родились четыре заряженные частицы.

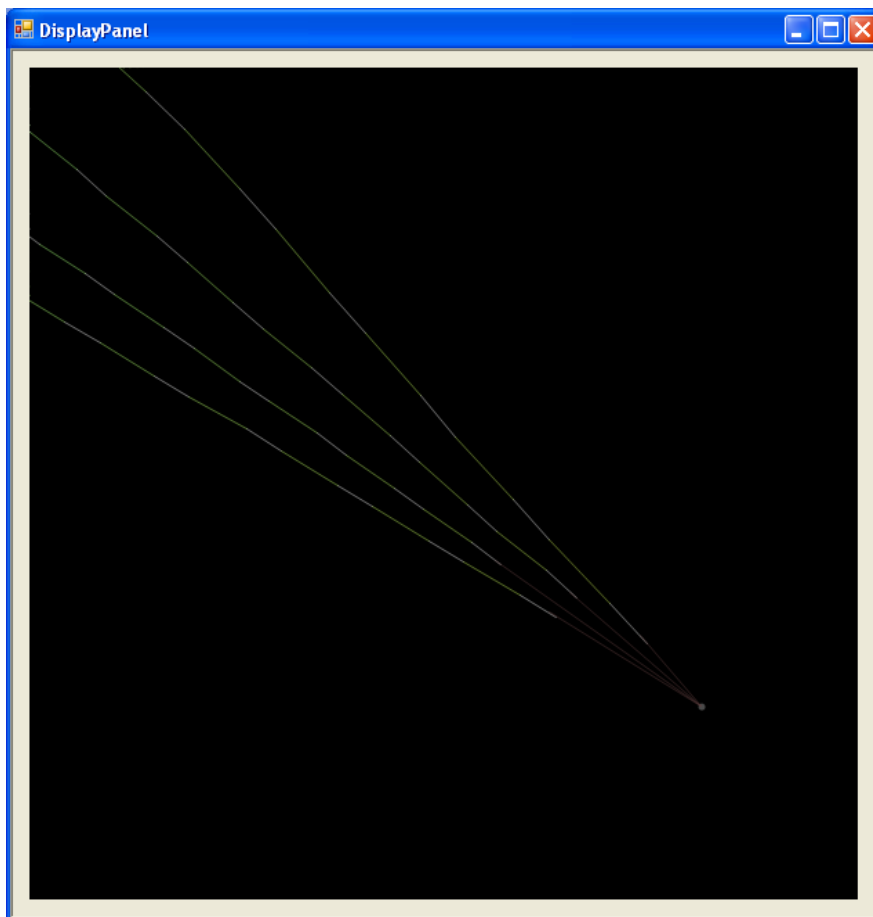


Рис. 57. Результат работы программ реконструкции событий.

**Последняя задача:** идентифицировать частицы.

Для этого нужно записать в файл координаты сегментов треков в эмульсионных слоях.

Впоследствии по ним можно будет оценить импульс частицы с помощью методов теории многократного рассеяния. Этой проблеме будет посвящена следующая задача практикума.

Чтобы записать в файл координаты сегментов трека нужно в **VertexBrowser** последовательно активировать **Go to selected track** и **Dump**.

В папке образуются файлы с информацией о сегментах трека:

TkSeg\_494.txt , TkSeg\_491.txt , TkSeg\_154.txt .

Литература.

[1] Ю.Г.Куденко. Исследование нейтринных осцилляций в ускорительных экспериментах с длинной базой. УФН, том 181, №6, июнь 2011 г.

[2] OPERA. An appearance experiment to search for neutrino oscillations in the CNGS beam. Experimental proposal.CERN/SPSC, 2000.

[3] Лабораторная работа№4. Изучение заряженных частиц космических лучей с помощью фотоэмульсий. Практикум по физике космических лучей. УНЦ ДО. М.2004

[4] Пауэлл С., Фаулер П., Перкинс Д. Исследование элементарных частиц фотографическим методом.- М.: ИЛ, 1962, гл. 3, § 1—3; гл. 4; § 1—3; гл. 5, § 7.