

APFRFQ – интегрированная среда разработки сильноточных линейных ускорителей ионов с фокусировкой ВЧ полем

С.С. Тишкин, М.Г. Шулика, О.М. Шулика

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина

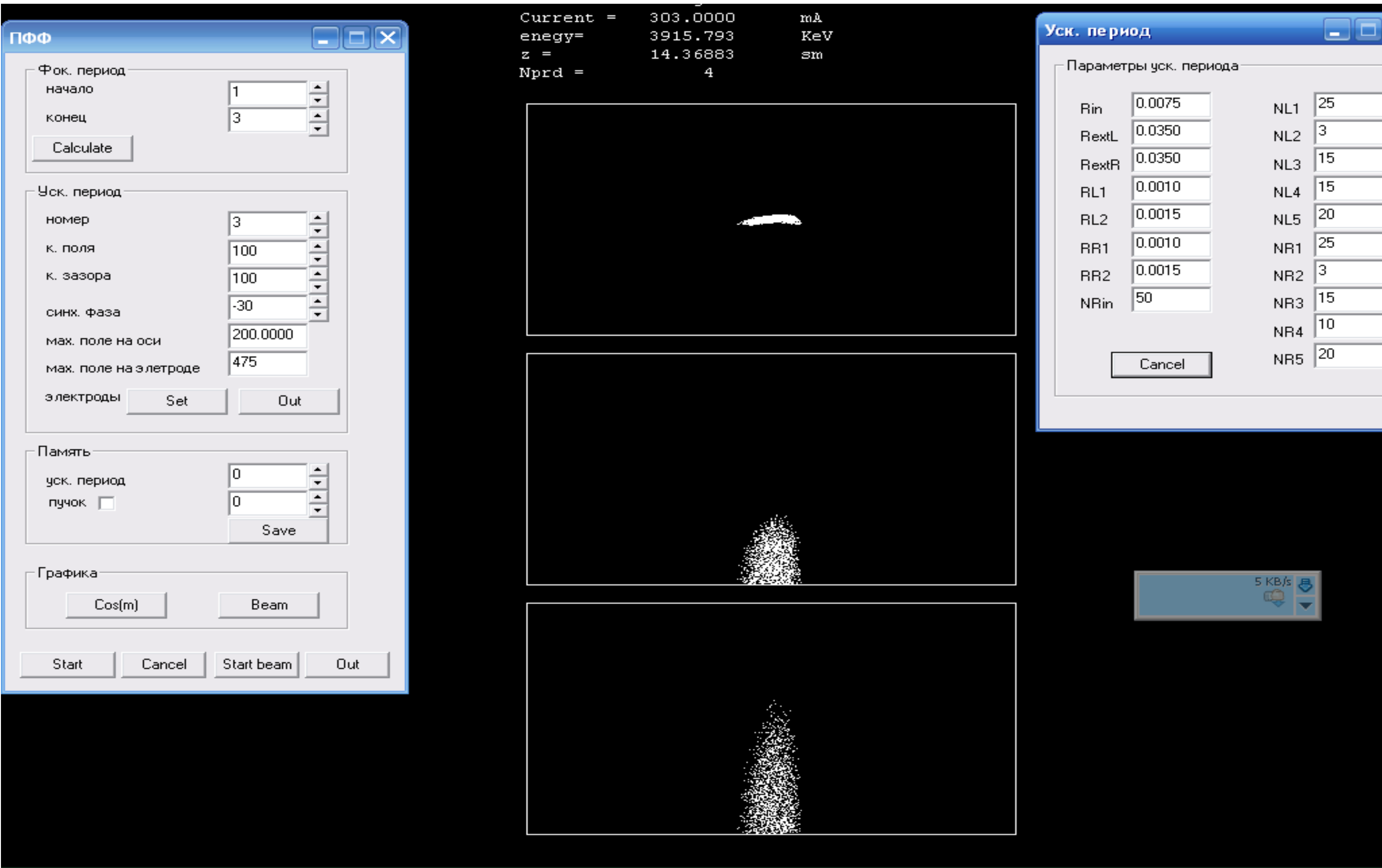
ВВЕДЕНИЕ

Актуальной задачей, стоящей при разработке мощных линейных ускорителей ионов, является правильный выбор способа фокусировки пучков заряженных частиц в зависимости от сорта ускоряемых ионов, требуемого диапазона энергий и необходимого значения ускоренного тока. При этом основные параметры ускоряюще-фокусирующего канала должны быть оптимальными для данной задачи и определены для реальной геометрии структуры с проведенным детальным моделированием динамики пучка с учетом сил объемного заряда. Поэтому разработку любого ускорителя нужно начинать с выбора типа фокусировки, определения основных параметров и геометрии ускоряющего канала и расчета динамики пучка во всем ускоряющем тракте, включая участки согласования между ускоряющими секциями.

Учитывая сложность задачи в последние 20-30 лет во многих научных ускорительных центрах стали активно разрабатываться программы для численного моделирования динамики частиц в линейных ускорителях заряженных частиц. В ННЦ ХФТИ создание программ расчета ускоряюще-фокусирующих каналов и исследование динамики частиц происходила одновременно с разработкой и созданием линейных ускорителей ионов. Особое внимание уделялось ускорителям с фокусировкой ВЧ полем, в частности, ускорителям с переменнo-фазовой фокусировкой.

Наш опыт практического расчета ускоряюще-фокусирующих трактов линейных ускорителей с ВЧ фокусировкой, показывает, что все этапы по разработке каналов линейных ускорителей и моделирование в них динамики пучков заряженных частиц должны быть объединены в единую систему (среду разработки). Данная среда должна включать в себя как хорошо известные, разработанные и формализованные способы обеспечения радиальной и фазовой устойчивости частиц, так и возможность эвристического анализа не предлагавшихся ранее методов или вариантов устойчивой локализации ускоряемых пучков в каналах линейных ускорителей. Именно такой подход был использован при создании интегрированной среды разработки APFRFQ, в которую вошли наиболее эффективные численные методы и алгоритмы, прошедшие апробацию при расчете различных вариантов линейных ускорителей ионов с фокусировкой ВЧ полем

Среда разработки сильноточных линейных ускорителей с фокусировкой ВЧ-полем APFRFQ



ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ APFRFQ

Новыми методам, которые используются в данной разработке, являются следующие.

Метод построения нерегулярного (непериодического) ускоряющего канала линейного ускорителя, основанного на представлении ускоряющего тракта, как совокупности отдельных согласованных между собой фокусирующих периодов. При этом сами фокусирующие периоды могут отличаться друг от друга числом ускоряющих зазоров, распределением фаз синхронных частиц и амплитуд ускоряющих полей в них, коэффициентов зазоров, диаметром апертуры канала и т.д.

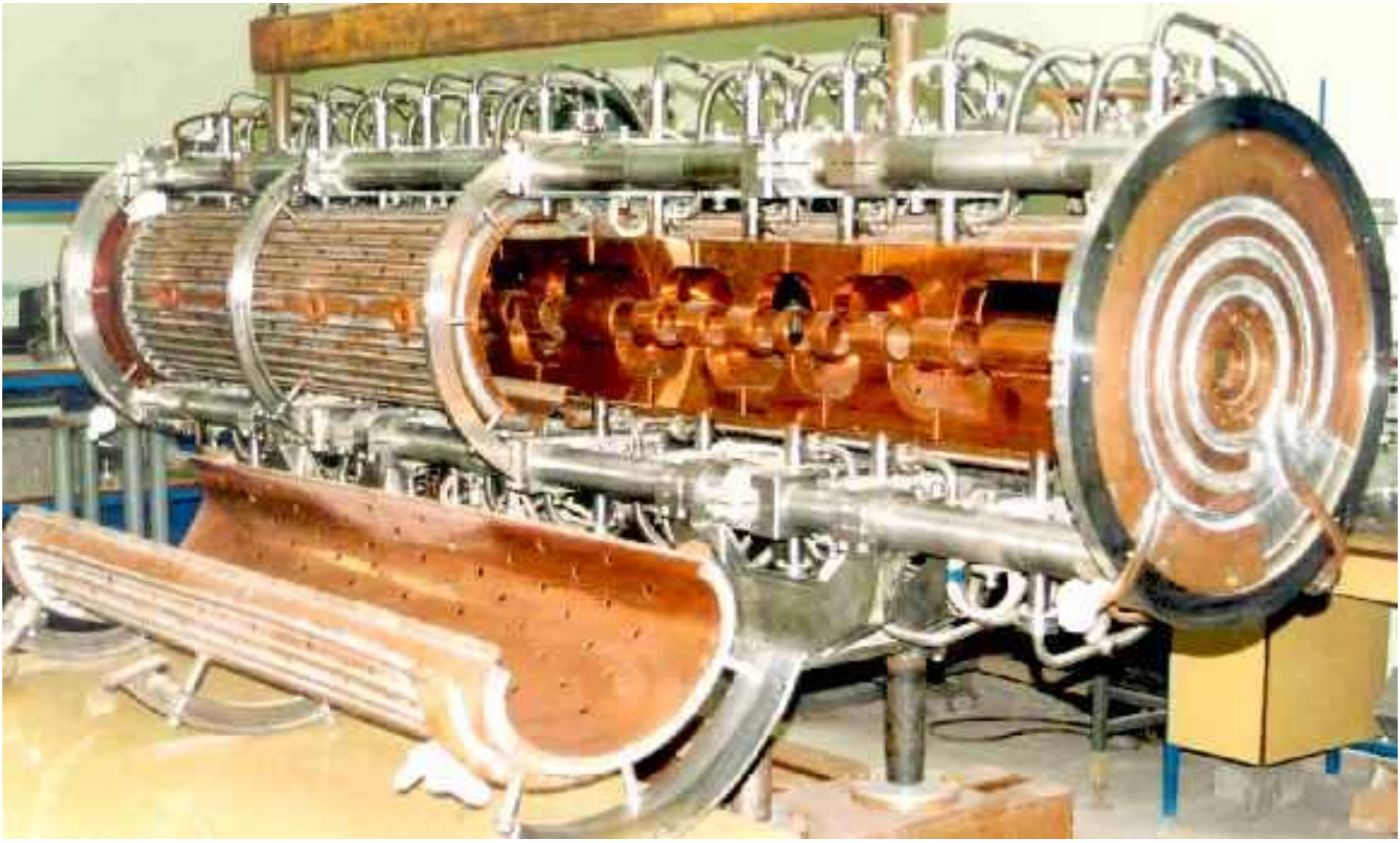
Метод «локальной устойчивости», позволяющий определить радиальную устойчивость движения не только в окрестности синхронной частицы, но также и для неравновесных частиц, захваченных в режим ускорения по продольному движению, с учетом их фазового движения для каналов с реальным распределением ускоряющих полей и сил кулоновского взаимодействия. Причем подобный анализ можно произвести для любой группы фокусирующих периодов, включая всю структуру в целом.

Метод согласования входных параметров пучка, имеющего произвольное шестимерного фазового распределение, с любой (нерегулярной) ускоряющей структурой с учетом сил объемного заряда.

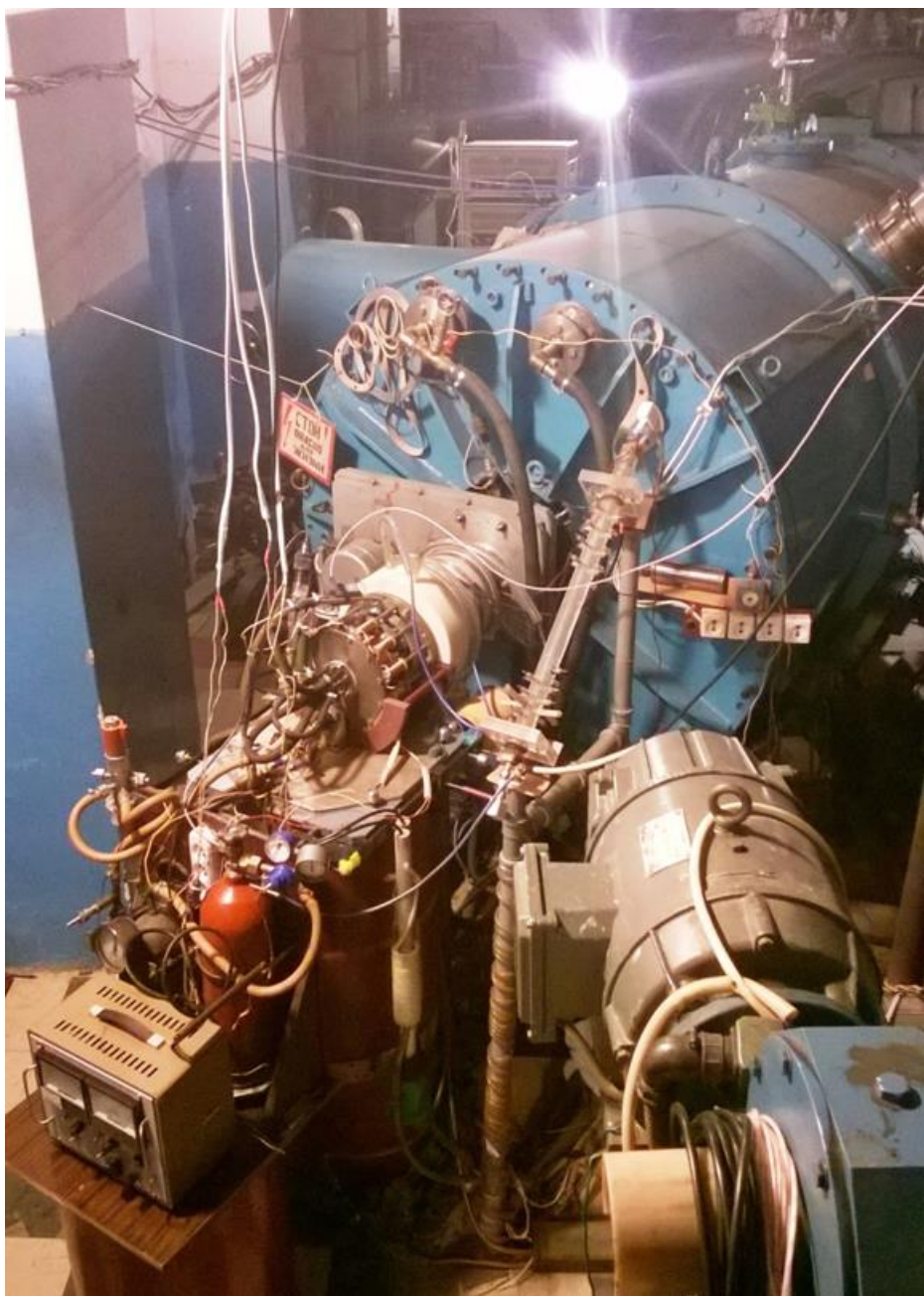
ОСНОВНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ APFRFQ

В ННЦ ХФТИ создание программ расчета ускоряюще-фокусирующих каналов и исследование динамики частиц происходила одновременно с разработкой и созданием линейных ускорителей ионов. Особое внимание уделялось ускорителям с фокусировкой ВЧ полем, в частности, ускорителям с переменнo-фазовой фокусировкой.

В интегрированной среду разработки APFRFQ вошли наиболее эффективные численные методы и алгоритмы, прошедшие апробацию при расчете различных вариантов линейных ускорителей ионов с фокусировкой ВЧ полем. Ниже представлены фотографии макетов и действующего ускорителя ионов гелия построенные на основе с методов и алгоритмов разработанных в ННЦ ХФТИ.



Макет линейного ускорителя протонов с модифицированной переменнo-фазовой фокусировкой (МПФФ)



Действующий линейный ускоритель гелия с МПФФ



Макет предобдирочной секции ускорителя многозарядных ионов с комбинированной ВЧ фокусировкой

ВЫВОДЫ

Интерактивная среда разработки ускорителей с фокусировкой ВЧ полем APFRFQ, позволяет рассчитывать тракты линейных ускорителей любой сложности не только для известных способов обеспечения устойчивого ускорения пучков заряженных частиц ВЧ полем, но и исследовать наиболее общий случай фокусировки ВЧ полем – комбинации переменнo-фазовой и высокочастотной квадрупольных фокусировок.

Среда разработки APFRFQ имеет модульную структуру и постоянно дополняется с учетом постановки и решения новых задач.