

класса с развитым математическим обеспечением для хранения, сортировки и предварительной обработки экспериментальных данных. На третьем уровне расположены машины высокого класса вычислительного комплекса ЛВТА, оснащенные обширной библиотекой программ обработки спектров.

Такая иерархическая трехуровневая архитектура под названием «стандартная архитектура» и в настоящее время широко используется при построении систем управления крупными физическими экспериментами и ускорителями. Однако современные системы отличаются от своих предшественников широким применением современных стандартных средств информационных технологий: модульных систем электроники, компьютерных сетей, стандартных шин и т.д.

## 6. Развитие методов математической физики

Вычислительная физика как научное направление оформилась в ОИЯИ к началу девяностых годов. Основную задачу этого направления в настоящее время можно сформулировать как алгоритмическую и программную поддержку теоретических и экспериментальных исследований, проводимых в Институте на основе эффективного использования современных вычислительных систем и высокоскоростных сетей.

Ранее работы по математическому обеспечению физических исследований велись в лаборатории в двух практически независимых направлениях.

Первое – вычислительная математика, возглавляемое профессором Е.П.Жидковым, включало разработку и развитие методов численного решения задач математической физики, возникающих в физических приложениях, и их программную реализацию, а также выполнение больших расчетов. Сюда же относилась разработка методов и комплексов программ статистического моделирования физических процессов. О развитии этого направления было написано в статьях профессоров В.С.Барашенкова, Е.П.Жидкова, В.Г.Маханькова, Е.Христова в юбилейных изданиях «Объединенный институт ядерных исследований (1956–1986)»; «Научное сотрудничество социалистических стран в ядерной физике»; «ОИЯИ 40»<sup>1–4</sup>.

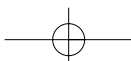
Второе направление – математическая обработка экспериментальных данных, которым руководил член-корреспондент АН СССР Н.Н.Говорун, обеспечивало практически все эксперименты, проводимые в Институте, путем разработки и сопровождения больших систем моделирования и обработки экспериментальной информации.

<sup>1</sup> Барашенков В.С. Математическое моделирование ядерно-физических процессов, инициируемых частицами высоких энергий // Объединенный институт ядерных исследований (1956–1986) / Под общей ред. акад. Н.Н.Боголюбова. Дубна, 1986. С. 253–262.

<sup>2</sup> Жидков Е.П. Непрерывный аналог метода Ньютона в нелинейных задачах математической физики // Объединенный институт ядерных исследований (1956–1986) / Под общей ред. акад. Н.Н.Боголюбова. Дубна, 1986. С. 270–274.

<sup>3</sup> Жидков Е.П., Маханьков В.Г., Христов Е. Нелинейные задачи математической физики // Научное сотрудничество социалистических стран в ядерной физике / Под ред. Н.Н.Боголюбова. М.: Энергоиздат, 1986. С. 108–112.

<sup>4</sup> Жидков Е.П. Математическое моделирование – физикам // ОИЯИ 40. Хроника, воспоминания, размышления / Под ред. В.Г.Кадышевского, А.Н.Сисакяна, В.М.Жабицкого. Дубна, 1996. С. 114–118.





Семинар в отделе вычислительной математики под руководством Е.П.Жидкова (1993 г.)

Исторически в рамках этого направления возникла и развивалась компьютерная алгебра, включающая сопровождение ряда пакетов, а также разработку прикладных алгоритмов.

О развитии систем обработки фильмовой информации можно прочесть в статье Н.Н.Говоруна и др.<sup>1</sup>.

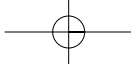
В рамках направления «Вычислительная математика» был получен ряд значительных результатов, относящихся как к разработке численных методов и программного обеспечения, так и к их приложениям к важным задачам физики. Отметим лишь некоторые из них.

В шестидесятые годы был разработан метод минимизации квадратичных функционалов и пакет FUMILI, получивший широкое распространение и вошедший в системы обработки экспериментальных данных. В 2003 году профессор И.Н.Силин решил более сложную задачу минимизации с нелинейными ограничениями на параметры.

Под руководством профессора В.С.Барашенкова в течение ряда десятилетий развивался программный комплекс КАСКАД для моделирования методом статистических испытаний прохождения частиц и ядер в широком спектре энергий через среды сложного состава.

Широкую известность получили работы группы, возглавляемой профессором Е.П.Жидковым, по созданию методов численного решения задач магнитостатики и их приложений к расчетам магнитных полей для конкретных физических установок.

<sup>1</sup> Говорун Н.Н., Иванов В.Г., Позе Р. Системы математической обработки фильмовой информации в физике высоких энергий // Научное сотрудничество социалистических стран в ядерной физике / Под ред. Н.Н.Боголюбова. М.: Энергоиздат, 1986. С. 112–119.



Наконец, нельзя не отметить цикл работ, посвященных численному решению квантово-механической задачи трех тел и их приложению в проблеме мюонного катализа, в котором участвовали сотрудники лаборатории профессор И.В.Пузынин, д.ф.-м.н. Т.П.Пузынина и др. Высокую оценку этих работ дал член-корреспондент АН СССР В.П.Джелепов<sup>1-3</sup>. Кроме этого, цикл был отмечен первой премией на конкурсе работ ОИЯИ.

Направление «Математическая обработка экспериментальных данных» включало построение больших систем программ обработки информации.

Здесь следует отметить систему автоматизации обработки спектрометрической информации, в разработке которой принимала участие группа сотрудников лаборатории под руководством к.ф.-м.н. Л.С.Нефедьевой. Эти разработки были отмечены медалями ВДНХ СССР и премией Совета Министров СССР.

Для обработки фильмовой информации была разработана модульная система «Гидра», позволяющая генерировать текст программы для обработки данных в конкретной ситуации по информации о типе эксперимента, составе экспериментального оборудования, типе ЭВМ, об алгоритме обработки. В этих разработках активное участие принимала группа сотрудников лаборатории под руководством к.ф.-м.н. В.Г.Иванова.

Фундаментальный вклад в разработку систем обработки экспериментальных данных (бесфильмовый съем информации) в физике частиц внес коллектив сотрудников лаборатории под руководством профессора И.М.Иванченко. В составе различных экспериментальных групп ряд членов этого коллектива десять (!) раз отмечались премиями ОИЯИ.

Бурное развитие в течение последнего десятилетия информационных технологий выдвинуло на первый план новые задачи. Одна из них заключалась в освоении и модернизации комплексов программ, ставших достоянием научного сообщества, внедрение в них новейших математических методов, отвечающих потребностям физических исследований.

В этой ситуации естественно было объединить опыт разработки и развития численных методов и создания больших систем программ в рамках единого научного направления.

Отметим некоторые области исследований:

- *Развитие методов моделирования и обработки экспериментальных данных*

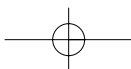
В настоящее время интенсивно развиваются новые подходы к построению математических моделей и методов анализа данных наблюдений: клеточные автоматы, искусственные нейронные сети, фрактальный анализ, вейвлет-преобразования.

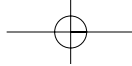
---

<sup>1</sup> Джелепов В.П., Пономарев Л.И. Мюонный катализ ядерных реакций синтеза // Объединенный институт ядерных исследований (1956–1986) / Под общей ред. акад. Н.Н.Боголюбова. Дубна, 1986. С. 168–171.

<sup>2</sup> Джелепов В.П., Фильченков В.В. Экспериментальное исследование явления резонансного образования мюонных молекул  $dd\mu$  и  $d\mu$  и  $\mu$ -катализа на синхроциклотроне ОИЯИ // Научное сотрудничество социалистических стран в ядерной физике / Под ред. Н.Н.Боголюбова. М.: Энергоиздат, 1986. С. 175–185.

<sup>3</sup> Джелепов В.П. Лаборатория ядерных проблем // ОИЯИ 40. Хроника, воспоминания, размышления / Под ред. В.Г.Кадышевского, А.Н.Сисакяна, В.М.Жабицкого. Дубна, 1996. С. 79–108.





В лаборатории проводится внедрение этих методов не только в комплексы программ для моделирования физических процессов и экспериментальных установок и системы для анализа экспериментальных данных, но и в задачи контроля и защиты сетевой информации. Руководит этими работами д.ф.-м.н. В.В.Иванов. Большой вклад в развитие этих методов для обработки экспериментальной информации внес профессор Г.А.Осоков. Цикл работ «Искусственные нейронные сети и клеточные автоматы в экспериментальной физике» отмечен в 1997 году первой премией на конкурсе работ ОИЯИ. Цикл работ «Статистическая модель информационного трафика» в 2002 году отмечен второй премией.

Дальнейшее развитие получил комплекс программ КАСКАД, позволяющий моделировать разнообразные ядерно-физические процессы, инициируемые адронами и ионами различных энергий в сложных по химическому составу гетерогенных делящихся и неделящихся средах. Помимо каскадной модели получила развитие модель квантовой молекулярной динамики. Одно из главных приложений этих моделей — расчеты параметров различных вариантов электроядерных установок. В этих работах активно участвовали сотрудники лаборатории под руководством профессора В.С.Барашенкова и доктора А.Полянского.

- *Создание методов и численных алгоритмов для расчетов магнитных полей и транспорта пучков частиц*

Под руководством профессора Е.П.Жидкова продолжались работы по созданию методов решения нелинейных задач магнитостатики в трехмерных областях, ориентированных на современные многопроцессорные и векторно-параллельные вычислительные системы. Одним из основных приложений явились расчеты магнитной системы экспериментальной установки ALICE. Большой вклад в развитие этой области внесли д.ф.-м.н. П.Г.Акишин и к.ф.-м.н. О.И. и М.Б.Юлдашевы.

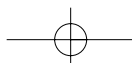
- *Создание систем обработки экспериментальных данных в физике частиц, включая развитие алгоритмов, программного обеспечения и архитектуры вычислительных кластеров*

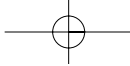
В последнее время создана распределенная система CHARМ для обработки и анализа данных в экспериментах по физике частиц. Система предназначена для эффективного решения двуединой задачи: обработки большого объема информации и поддержки высокой скорости обработки на основе распределенной вычислительной системы.

Развитие и применение этой системы было успешно выполнено в рамках коллаборации EXCHARМ. Автором идеологии и руководителем разработок является профессор И.М.Иванченко.

- *Создание численных методов и комплексов программ для математического моделирования сложных физических систем*

Основным подходом для разработки алгоритмов численного исследования переходных и критических процессов в математических моделях сложных систем является обобщенный непрерывный аналог метода Ньютона (НАМН). Этот подход интенсивно развивается в лаборатории в течение уже тридцати лет. За это время усилиями





группы сотрудников ОИЯИ под руководством профессора И.В.Пузынина метод превратился в мощный инструмент построения эффективных вычислительных схем для решения разнообразных нелинейных задач, возникающих в физике. Сейчас можно с уверенностью сказать, что разработан качественно новый, по сравнению с первоначальным вариантом НАМН, подход к созданию алгоритмов для численного анализа сложных многопараметрических нелинейных моделей физики.

Создание этого подхода явилось во многом продуктом опыта решения разнообразных практических задач. Это сингулярные спектральные задачи теории мезокатализа и теории ядра, это нелинейные полевые модели – потенциальные модели КХД, модели полярона, модели джозефсоновских переходов и другие. Поэтому в разрабатываемом подходе, наряду с идеями НАМН, нашли отражение наиболее привлекательные стороны известных методов решения задач физики. Это схемы теории возмущений, метод продолжения по параметру, метод эволюции по константе связи.

В разработанных итерационных схемах оптимизируется сходимость, в определенном смысле решается задача выбора начальных приближений и упрощается решение линейной задачи относительно итерационных поправок. Более того, возможно построение итерационного процесса без обращения линейного оператора в этой задаче. Развитые вычислительные схемы обладают свойствами таких известных методов, как метод расщепления, многосеточные методы, некоторые методы регуляризации.

В спектральных задачах обобщение НАМН может служить единой теоретической основой описания ряда известных методов.

- *Развитие методов, алгоритмов и пакетов программ компьютерной алгебры*

Работы в этой области ведутся в двух направлениях.

Во-первых, обеспечение сопровождения и развития таких пакетов компьютерной алгебры, как Maple, Mathematica, Reduce, Form; обеспечение пользователей информацией о символьных методах, алгоритмах и программном обеспечении.

Во-вторых, разработки прикладных алгоритмов, связанных с символьным решением систем алгебраических и дифференциальных уравнений. Здесь одним из главных являются методы построения инволютивных базисов для приведения систем к соответствующему каноническому виду.

Эти работы возглавляет профессор В.П.Гердт.

## **7. Экспериментальные исследования: исследование структуры дейтрона в соударениях релятивистских ядер**

В новую лабораторию – ЛВТА – вместе с М.Г.Мещеряковым перешла его научно-исследовательская группа во главе с Леонидом Степановичем Ажгиреем, вместе с которой он более десяти лет проводил цикл работ по изучению структуры дейтрона на синхроциклотроне ЛЯП. Таким образом, лаборатория, ориентированная на поддержку физической программы ОИЯИ, непосредственно в ней участвовала. Ниже приводится обзор этих работ, составленный Л.С.Ажгиреем.

Дейтрон является простейшим ядром, состоящим из двух нуклонов: протона и нейтрона. Поэтому, с одной стороны, он представляет собой прекрасный инструмент

