

# ОИЯИ и этапы «большого» космического пути

25–26 апреля ЛРБ ОИЯИ вместе с РАН и Институтом медико-биологических проблем проводят круглый стол «Актуальные вопросы радиационной безопасности длительных космических полетов», посвященный 50-летию первого полета человека в космос. О причастности биологов и физиков Объединенного института к этапам освоения человечеством космического пути рассказывает директор Лаборатории радиационной биологии профессор Евгений Александрович КРАСАВИН.

## Задачу поставил Королев

Круглый стол, который мы планируем провести, – это не только дань ОИЯИ памятной дате освоения космоса. Объединенный институт имеет полное право на активное празднование этой даты, поскольку всей своей деятельностью причастен к реализации первых космических программ, в том числе – и к полету Юрия Гагарина. После запуска спутника в 1957 году, эпохального события, которое было бы попросту невозможным без существовавшей тогда великокопной системы образования – от начальной школы до высшей, появилась возможность детально оценить радиационную обстановку в космосе.

Уже на первых космических аппаратах стало возможным провести первые оценки многокомпонентного состава космического излучения. Оказалось, что в космическом излучении присутствуют ядра практически всей таблицы Менделеева, но наиболее представлены протоны высоких энергий, исходящие от Солнца и идущие из Галактики, вкупе с более тяжелыми заряженными частицами. В этом спектре наиболее представлены ядра углерода и железа с энергией в несколько сот МэВ/нуклон. Когда возник вопрос о запуске на орбиту живых существ, С. П. Королев поставил перед радиобиологами задачу оценки радиационной опасности, в первую очередь действия протонов высоких энергий, – насколько их действие будет губительно и насколько отличается от воздействия уже известных электромагнитных излучений (гамма-излучения, рентгеновского и других).

Моделировать условия космического облучения надо было на Земле, а для этого требовались ускорители. Идеальной машиной для таких целей оказался синхротрон ОИЯИ, ускоряющий частицы на энергии 660 МэВ и прекрасно функционирующий до сих пор. Только что созданный Институт медико-биологических проблем во многом формировался из специалистов медико-биологического обеспечения различных военных организаций. Сотрудники этого института и некоторых военных организаций привлекались для постановки первых экспериментов на пучках синхротрона по выяснению опасности протонов высоких энергий для биологических объектов. В ИМБП эти работы возглавил профессор Ю. Г. Григорьев. Исследования проводились на различных биологических объектах – от вирусов, бактерий и клеток млекопитающих до мелких и крупных лабораторных животных, включая собак и обезьян. Были проведены широкомасштабные исследования по определению биологического воздействия протонов. Проводились поиски радиопротекторов, которые смогли бы защитить от их воздействия. В итоге были получены уникальные результаты, которые легли в основу нормативных документов, с одной стороны позволяющих оценить риск радиационного воздействия, а с другой – созда-

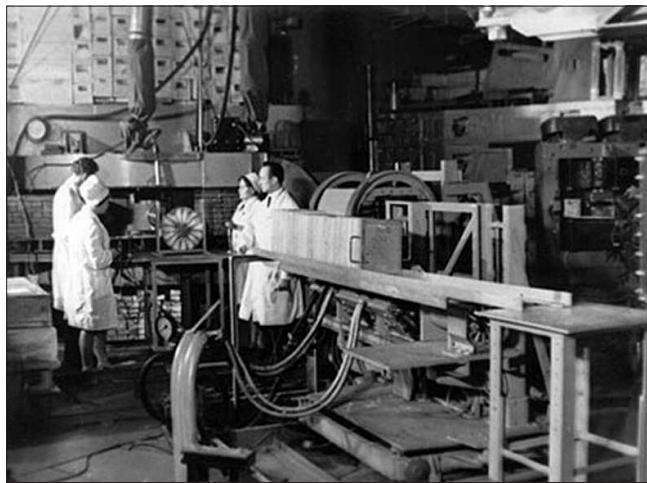
вать условия, максимально обеспечивающие защиту от повреждающего действия на организмы космонавтов. Полученные результаты, а это объемистые сборники, сразу ставшие классическими, до сих пор востребованы специалистами. В США, например, к ним часто обращаются, поскольку аналогичных исследований у них не проводилось.

В период проведения этих исследований я поступил в аспирантуру ИМБП по специальности радиационная биология, предварительно побеседовав с профессором Ю. Г. Григорьевым. Он очень тепло ко мне отнесся и предложил в качестве темы изучать воздействие ускоренных тяжелых ионов на биологические объекты. Оказалось, что ускоренные тяжелые ионы оказывают более губительное действие на живые организмы по сравнению с протонами. В США аналогичные эксперименты только-только начинались на ускорителях в Беркли и в Йельском университете. Кстати, аспирантский экзамен по специальности, который я сдавал в Дубне Григорьеву и приехавшему с ним на конференцию директору ИМБП академику В. В. Парину, мне защитили и как кандидатский.

## От синхроциклотрона – к ускорителям тяжелых ионов

ОИЯИ в становлении этих исследований сыграл громадную роль. В 1978 году при поддержке Д. И. Блохинцева, Н. Н. Боголюбова и В. П. Желепова был создан сектор биологических исследований. Первоначально его задачей было изучение воздействия переменных магнитных полей на биологические объекты. Энтузиастом этого направления был В. И. Данилов. Но эти исследования не получили развития, поскольку существенных примеров такого влияния не было получено. Я в ту пору работал старшим научным сотрудником ИМБП. В Дубну для организации работ по изучению радиационного воздействия заряженных частиц меня пригласил В. И. Корогодин. Я постарался развивать те направления, которые были заложены в ходе ранних исследований специалистов ИМБП. Речь идет о попытке выяснения механизмов, лежащих в основе различий биологической эффективности, которой обладают разные виды ионизирующих излучений. Почему при одной дозе облучения разными типами ионизирующей радиации (например, нейтронами и гамма-квантами) их биологическое действие отличается в несколько раз? Фактический материал у нас был, нужно было исследовать генетический механизм. Этой задачей и занялся наш сектор. Эту проблему пытались решить радиобиологи и физики многих лабораторий мира. Они полагали, что все дело заключается в специфике энерговыделения разных видов излучений в генетических структурах, и это, в конце концов, определяет биологический эффект. Возникло новое направление в науке – микродозиметрия. С использованием расчетных методов проводилось изучение специфики энерговыделения в микрообъемах, моделирующих конкретные генетические структуры. Были исписаны тонны бумаги, издано немало книг.

Мы же показали, что это только одна сторона медали. Вторая заключается в специфике организации генетического аппарата самих живых клеток, в их способности репарировать повреждение генетических структур. Причем выяснилось, что различная способность клеток к репарации повреждений ДНК при



**50 лет назад.  
Первые радиобиологические эксперименты  
на синхротроне.**

действию разных типов излучений зависит от возникновения отличающихся по степени тяжести повреждений ДНК. При действии тяжелых заряженных частиц возникают кластерные повреждения, то есть множественные нарушения химических связей, которые будут труднее репарироваться клетками. Созданному здесь международному коллективу, в который вошли специалисты из Чехии, Болгарии, Словакии, Венгрии, удалось вскрыть механизмы, лежащие в основе этих различий. С использованием ускорителей заряженных частиц ОИЯИ была решена одна из основных проблем радиобиологии – проблема биологической эффективности различных видов излучений. Мы гордимся этим результатом.

Для космической радиобиологии это имело решающее значение – возможность прогнозировать опасность космического излучения, строить модели и делать оценки. Эту задачу удалось решить, главным образом, при помощи ускорителей тяжелых ионов ЛЯР. Г. Н. Флеров очень поддерживал наши исследования. На базе этих разработок, связанных с оценкой гибели разных клеток при действии различных излучений, была разработана программа по изучению специфики их мутагенного действия. Наш международный коллектив решил и эту проблему.

### **Игла, «прошивающая» клетки**

Сейчас наступил новый этап в освоении дальнего космоса: национальные и международные программы ставят задачи постоянного проживания человека на лунных базах – это дело ближайшего будущего – и пилотируемого полета на Марс. Здесь возникают принципиально новые задачи, связанные с оценкой риска радиационного воздействия тяжелых заряженных частиц галактического излучения. При орбитальных полетах магнитное поле Земли защищает космонавтов как экраном от заряженных частиц. В открытом космосе экипаж ощутит воздействие протонов (с ними удастся разобраться) и тяжелых ионов галактического излучения, защититься от которых пока не представляется возможным, поскольку пробег этих частиц достигает больших величин. При энергиях 500 МэВ/нуклон он составляет несколько десятков сантиметров в воде. Увеличение толщины защиты космического аппарата, во-первых, является весьма дорогостоящим, а во-вторых, будет приводить не к уменьшению, а к росту интегральной дозы облучения за счет

фрагментации тяжелых ядер. А в один трек высокоэнергетического ядра железа может быть заключено до нескольких десятков тысяч клеток различных тканей человеческого организма. Тяжелая заряженная частица подобна игле, прошивающей тысячи клеток, которые могут подвергнуться высокой дозе радиации и погибнуть. Поток частиц групп углерода и железа в открытом космосе составляет около 160 частиц/см<sup>2</sup> в сутки.

Какие системы человеческого организма могут оказаться критическими для этих воздействий? Во-первых, оказалось, что тяжелые заряженные частицы с очень высокой степенью риска индуцируют раковые заболевания. Коэффициенты биологической эффективности тяжелых ионов по сравнению с гамма-излучением по критерию индукции раковых заболеваний лежат в пределе от 20 до 100. Второе слабое место – органы зрения. Результаты воздействия – повреждения сетчатки, а это часть мозга, вынесенная на периферию, и хрусталика (катаракта). У нас были очень хорошие контакты с Институтом радиобиологии органов зрения (Колумбийский университет) и его директором, ведущим специалистом в этой области профессором Б. Воргулом. Он показал, что при облучении структур глаза крыс ионами аргона с энергией 400 МэВ/нуклон ничтожной дозой в 1сантигрей через 40–50 недель у животных возникает катаракта.

Важнейшим критическим органом в этом смысле является и центральная нервная система (ЦНС). Ее клетки очень резистентны к действию электромагнитного излучения, но действие тяжелых заряженных частиц – ионов железа в сравнительно небольшой дозе, судя по опыту специалистов из НАСА, вызывает множественные нарушения функций ЦНС: различных видов памяти, когнитивных функций (усвоение навыков), поведенческих функций. А эти исследования только в самом начале. Как в таких условиях человеку лететь к дальним планетам? Возникновение рака у экипажа не помешает самому полету, но нарушения, связанные с выполнением операторской деятельности, просто поставят всю миссию под угрозу.

### **Новый этап исследований на установке нового уровня**

Все это можно изучить, проложив мостик от первых исследований на синхротроне до современных экспериментов, прекрасные возможности которых, открываются на Нуклотроне. Энергетический спектр частиц, получаемых на этом ускорителе, позволяет моделировать радиационное воздействие галактического космического излучения. А если на комплексе NICA будет построен бустер на энергию частиц до 600 МэВ/нуклон, то появятся идеальные условия для наших исследований. А пока, в очередном сеансе на Нуклотроне мы вместе с коллегами из ИМБП планируем эксперименты с пучком углерода. В следующем году планируются сеансы с ускоренными ионами золота, на которых мы надеемся поставить эксперименты с приматами – как раз по воздействию на центральную нервную систему. Так что ОИЯИ по-прежнему, как и полвека назад, остается уникальным международным центром, который, безусловно, будет оказывать важное содействие реализации космической программы по пилотируемым межпланетным полетам!

**Ольга ТАРАНТИНА**