

# Прежде чем лететь на Марс

Отмечаемый ныне юбилей первого полета человека в космос – праздник как самих космонавтов, так и огромного количества специалистов, сделавших этот полет возможным. Причем не только с технической стороны, но и, если можно так сказать, с человеческой. Среди тех, кто на этапе подготовки полета в земных условиях должен был определить риск для человека, поднимающегося на орбиту, как для биологического объекта, – ученые ОИЯИ.

Полвека назад на ускорителях Объединенного института моделировались радиационные условия орбитальных полетов. Здесь сегодня проверяются возможности полета человека на Марс. Об этом рассказал директор Лаборатории радиобиологических исследований ОИЯИ Евгений Александрович Краевин.

## В синхротроне – орбитальные условия

После запуска первого спутника обнаружилось, что в космосе присутствует сложный комплекс высокоэнергетических излучений, в первую очередь протонов широкого энергетического диапазона. И перед первым пилотируемым полетом стояла задача изучения того, как протоны высоких энергий будут влиять на организм человека. Не было ясно, какова специфика действия протонов в отличие от так называемых стандартных излучений, с которыми человек сталкивался в земных условиях, – рентгеновского, гамма-квантов и др.

Экспериментальные данные до полета можно было получить, используя ускорители заряженных частиц, и наш синхротрон, ускоряющий протоны до энергии 660 МэВ, был идеальной машиной для этих целей, поскольку энергетический спектр протонов, которые идут главным образом от Солнца, лежит в этом диапазоне. В СССР аналогичных машин тогда не было, да и во всем мире их по пальцам можно было пересчитать. И Дубна, обладавшая таким ускорителем, оказалась уникальным местом, где могли проводиться эксперименты по проверке биологической эффективности протонов.

В основном эти радиобиологические эксперименты вели специалисты только что созданного тогда Института медико-биологических проблем (ИМБП) – он был головным в этой широко-масштабной программе – и ряда других институтов, в том числе военных.

## Протоны не так страшны, как...

В экспериментах на протонном ускорителе изучали широкий спектр возможных повреждений, вызываемых действием протонов на генетические структуры, на ДНК, мутационные процессы, гибель клеток и т. д. Облучались разными дозами протонов живые структуры: от одноклеточных (включая вирусы, бактерии) и клеток млекопитающих «в культуре» до мелких и крупных лабораторных животных (мышей, крыс, собак, обезьян). Целью этих исследований было определение так называемой относительной биологической эффективности: насколько повреждения в результате воздействия протонного излучения являются более тяжелыми по сравнению с теми же дозами стандартных излучений.

Оказалось, что протоны высоких энергий по своему воздействию не сильно отличаются от электромагнитных излучений. Впоследствии это позволило создать нормативную базу для того, чтобы грамотно оценивать риск радиационного воздействия при длительных орбитальных полетах. Радиационная доза была определена физическими методами, а биологические эффекты могли быть предсказаны на основе опытов, проведенных в земных условиях на наших ускорителях.

Весь тот период можно охарактеризовать как важный этап в изучении воздействия на человека космических излучений разного качества, и роль Дубны в этом огромна: получен уникальный материал, который до сих пор является очень ценным.

## Иногда они восстанавливаются

В тот период руководство ИМБП добились, чтобы на территории ОИЯИ была построена лаборатория, в которой на постоянной основе работали сотрудники этого медико-биологического института. А в 1978 году при активной поддержке Д. И. Блохинцева,

Н. Н. Боголюбова, В. П. Дзельцова непосредственно в ОИЯИ был создан сектор радиобиологических исследований (со временем он вырос в отдел, затем отделение, и наконец в отдельную лабораторию Объединенного института – А. А.), одна из главных задач которого – изучение фундаментальных механизмов, которые обуславливают различные биологического воздействия излучений с разными физическими характеристиками. Это очень непростая задача, в разных лабораториях мира физики вместе с биологами пытались решать ее на основе учета специфики выделения энергии различных видов излучений в некоторых микробиомах, сопоставимых с генетическими структурами. Возникла целая область науки – дозиметрия. Но оказалось, что это только одна сторона медали, а другая заключается в способности живых клеток репарировать (восстанавливать) определенные типы повреждений ДНК. Оказалось, что при действии тяжелых заряженных частиц возникают множественные тяжелые (кластерные) повреждения, которые клетка может репарировать с трудом либо вовсе не может.

## ...Группы углерода и железа

Сейчас в ряде стран на правительственном уровне интенсивно обсуждается программа пилотируемого полета на Марс. На мой взгляд, радиационный фактор в программах освоения дальнего космоса может являться основным среди лимитирующих факторов. Орбитальные космические полеты совершаются в пределах действия магнитного поля Земли (оно простирается почти на 6 тысяч километров), а за его пределами экипажи будут подвергаться воздействию галактического излучения. Там на человека будет воздействовать со всех сторон сложный многокомпонентный поток высокоэнергетических тяжелых ядер. В этом потоке присутствуют все элементы таблицы Менделеева, но основную часть составляют ядра группы углерода

и железа, среди которых наибольшее количество – с энергией порядка 500 МэВ/нуклон.

Частицы с такой энергией будут легко пронизывать обшивку космического корабля, и физическими методами защититься от них невозможно (пока только теоретически прорабатываются варианты водяного защитного слоя или собственного сильного магнитного поля), поэтому необходимо оценивать риск воздействия галактического излучения на человека.

## В нуклотроне – галактические

Результаты тех экспериментов, которые мы проводили и проводим в нуклотроне в Лаборатории физики высоких энергий и на циклотроне в Лаборатории ядерных реакций, показывают: биологическая эффективность тяжелых ионов достигает значений существенно больших, чем при действии протонов. Последствия облучения такими ядрами:

– возникновение раковых заболеваний,

– повреждение сетчатки и хрусталика глаза,

– повреждение мозга.

Расчетным путем определено, что за год полета к Марсу суммарно на каждый квадратный сантиметр поверхности тела космонавта придется  $10^5$  тяжелых частиц, то есть 160 за каждые сутки. Хромосомные повреждения в клетках при воздействии ядер более грубые и сложные, они являются причиной возникновения рака. Сильно повреждается хрусталик глаза: как показали опыты с животными, проводимые учеными Колумбийского университета США (мы с ними сотрудничаем), через 40–50 дней возникает катаракта. При длительном полете это грозит слепотой экипажу.

Но главное – воздействие излучения на мозг. Например, ядро углерода с энергией 250 МэВ/нуклон, войдя в участок нервной ткани, затормозится на глубине 12,5 сантиметров, оставив за собой трек (след), в который попадут и тяжело повреждаются тысячи клеток. Такие «иголки» будут пронизывать все ткани организма, в том числе и мозг. Несколько лет назад я встречался с одним из американских специалистов, которые изучают такие поражения центральной нервной системы у животных (крыс). Опыты показывают, что поведенческие реакции их сильно нарушаются. Это говорит о том, что у космонавтов под влиянием излучения будет модифицироваться психологическое состояние. Но если экипаж, долетев до Марса, потеряет зрение и психологическую адекватность, свою миссию он не выполнит.

Итак, при нынешних скоростях космических кораблей лететь к Марсу придется год – человеческий организм не справится с воздействием галактического излучения при таком длительном полете. По оценкам специалистов Института космических исследований, надо лететь примерно в 4 раза быстрее, то есть нужны новые конструктивные решения по двигателям – и такие разработки сейчас ведутся.

Беседовала Анна Алтынова

