

light

№ 15 (17) | 31 июля 2012

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Детали мира

**Как вернуться
с Марса не идиотом**

ГАЛАКТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ТОРМОЗИТ ПОЛЕТ ЧЕЛОВЕКА
К КРАСНОЙ ПЛАНЕТЕ

**НОВЫЕ
семейные
ценности**

ГОМОСЕКСУАЛИСТАМИ
СТАНОВЯТСЯ ПО ЗАКОНАМ
ДЕМОГРАФИИ

**Ускорение
мирного атома**

РОССИЯ ЭКСПЕРИМЕНТИРУЕТ
С АЭС НОВОГО ТИПА

→ **Этика клеточных технологий**

50 000 лишних эмбрионов
беспокоят ученых и РПЦ

→ **Безумство под названием
«24 часа Ле-Мана»**

Самыми крепкими и быстрыми
оказались машины Audi

→ **Рассмотреть погоду
на экзопланетах**

Астрофизики смогли
увидеть невидимое

APPS SHOW



GADGET SHOW

СЛОЖНЫЕ ИГРЫ В ИНТЕЛЛЕКТ

ДЕЛЬФИНЫ ОКАЗАЛИСЬ СПОСОБНЫ К КОРПОРАТИВНЫМ РЕШЕНИЯМ

На Марс нужно лететь быстрее

Иначе можно
вернуться
клиническим
идиотом или
не вернуться
совсем

Текст: *Наталья Теряева*

За 500 дней, которые нужны для полета к Марсу и обратно, организм космонавтов необратимо пострадает. Таковы результаты последних исследований радиобиологов и физиологов. Самую большую опасность ученые видят в галактическом излучении: оно способно лишить человека зрения и разума, без чего ни до цели долететь, ни домой вернуться. Подробности своих наблюдений ученые поделились с «Детальями мира».

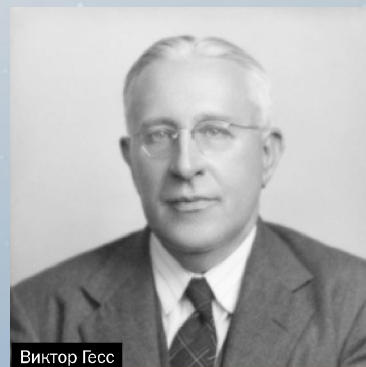
СОЛНЦЕ ПРОТИВ ГАЛАКТИКИ

55 лет назад, когда в СССР готовился первый полет человека в космос, в Дубне исследовали воздействие протонов высоких энергий на живые организмы. Эксперименты проходили на синхротроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ АН СССР). Ученые облучали протонами клетки растений и лабораторных животных, чтобы понять, как подействует на человека космическое излучение, которое как раз из протонов высоких энергий в основном и состоит. Ученые предполагали, что такие высокоэнергетические частицы могут разрушать организм человека подобно действию гамма-излучения и рентгеновских лучей. Так и оказалось. Те результаты экспериментов помогли выбрать оптимальные орбиты для космических кораблей, чтобы до минимума снизить риск облучения людей космической радиацией. Удалось разработать и методы физической защиты космонавтов от излучения на околоземной орбите.

Однако в дальнем космосе защиты от протонов человеку не хватит. За пределами магнитного поля Земли его подстерегает намного более опасное излучение из глубин Галактики. «Энергии у частиц солнечных космических лучей, как правило, меньше, чем у частиц галактических космических лучей, — пояснил «Детальям мира» директор Научно-исследовательского

ГАЛАКТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

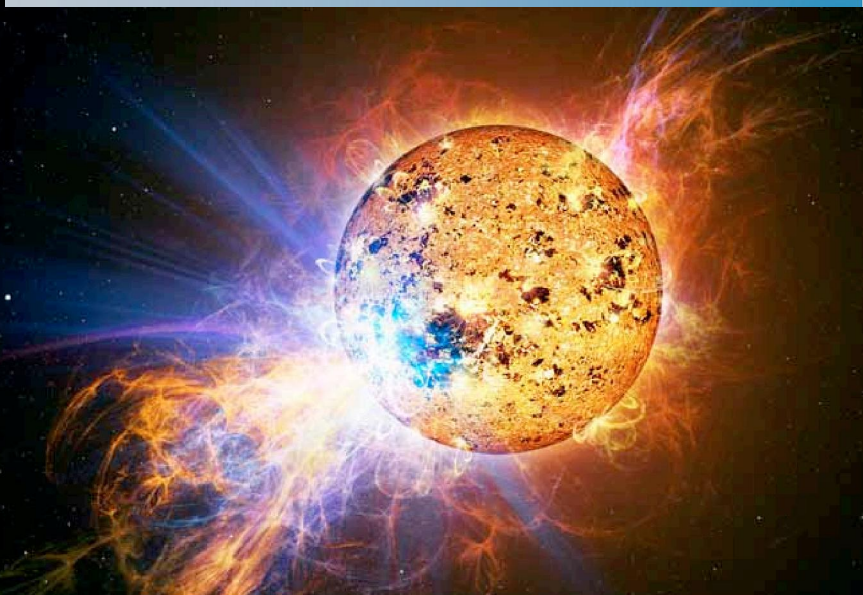
В 1911–1912 годах австрийский физик Виктор Гесс поднимался на аэростате на высоту 5000 метров и с помощью электроскопа измерял скорость ионизации воздуха. Сначала с ростом высоты скорость ионизации падала вследствие уменьшения влияния радиоактивности самой Земли, а затем, по неизвестной причине, начинала расти. Гесс назвал это излучение *durchdringende nohenstrahlung* — «проникающее высотное излучение». Во время одного из полетов Гесса произошло солнечное затмение, но ионизация не уменьшилась. Ученый сделал правильный вывод: источни-



Виктор Гесс

ком излучения не может быть Солнце.

Эксперименты Гесса послужили началом нового направления в физике — физики космических лучей. В 1936 году за открытие космических лучей Гессу была присуждена Нобелевская премия.



института ядерной физики имени Д. В. Скобелыцина (НИИЯФ МГУ) Михаил Панасюк. — Ведь галактические частицы ускоряются на ударных волнах — остатках от взрывов сверхновых. А так звезды взрываются в нашей Галактике один раз в 30–50 лет. К тому же поток частиц из Галактики постоянен, в отличие от солнечных космических лучей. Они генерируются на Солнце или в межпланетной среде, в основном во время солнечных вспышек. На несколько часов или суток поток солнечных космических лучей может превысить поток галактических космических лучей, но энергия этого потока, напомним, меньше. Так что суммарный вклад солнечных космических лучей за длительное время незначителен. Существуют также внегалактические космические лучи, попадающие в нашу Галактику из других галактик. Их энергии больше, чем у галактических космических лучей, но потоки — значительно меньше».

ГОЛЫЕ И ТЯЖЕЛЫЕ

«В отличие от состоящих только из протонов солнечных потоков галактические космические лучи представляют собой потоки и легких, и тяжелых ионов, — продолжает Панасюк. — Но даже тяжелые атомы лишены электронных оболочек. По сути, они — «голые» ядра. Причина этого — взаимодействие с веществом в процессе их переноса во Вселенной».

Самый распространенный элемент галактических космических лучей — водород, его ионы и называются протонами. Но при помощи установленных на исследовательских космических спутниках энергомасс-спектрометров ученым удалось увидеть и другие частицы. Чуть менее одного процента всех частиц галактического излучения составляют тяжелые ионы с энергией 300–500 МэВ/нуклон. Среди тяжелых ионов преобладают ионы углерода, кислорода и железа. Такой состав тяжелых ионов легко объяснить. Как установили астрофизики, все три элемента образуются в ходе эволюции звезд, а распространяются по Галактике из-за взрывов сверхновых.

Результаты измерений космических спутников послужили основой для дальнейших модельных расчетов. Они показали, что вне магнитосферы Земли на каждый квадратный сантиметр площади падает в год примерно 10^5 тяжелых ионов в год. А в сутки — около 160 частиц с зарядом ядра (Z) больше 20. Значит, во время полета на Марс за каждые сутки именно такое их количество упадет на квадратный сантиметр поверхности тела космонавта.

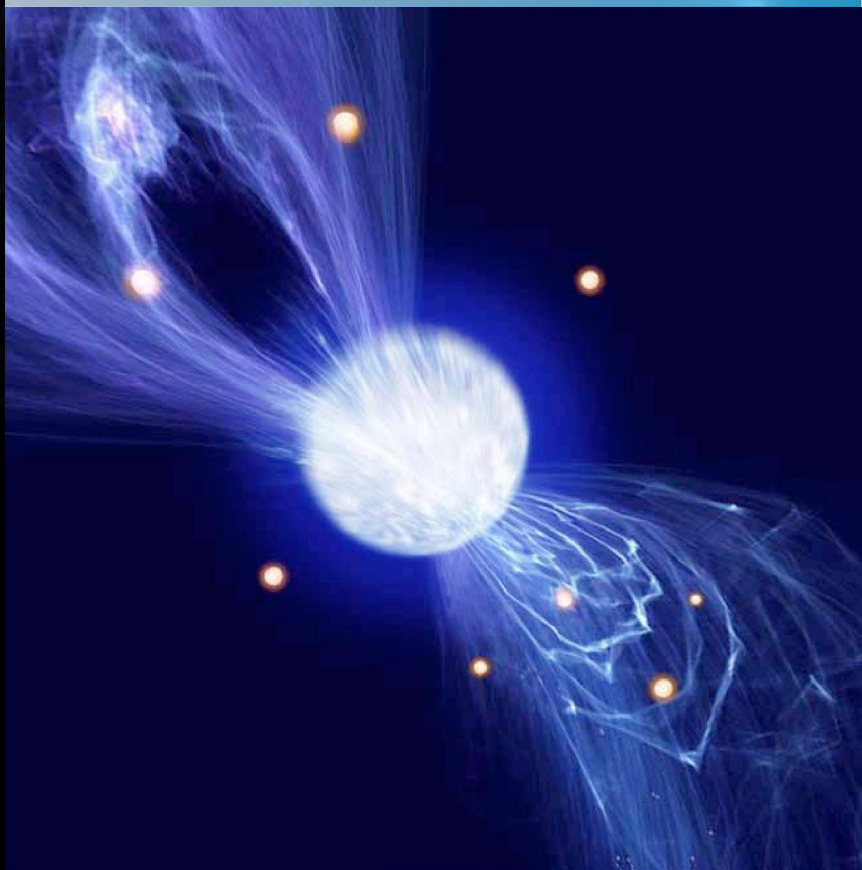
ИОН

Ион (от греч. Ion — «идущий») — электрически заряженная частица, образующаяся при отрыве или присоединении одного или нескольких электронов к атому или молекуле. Ионы могут быть положительными (при потере электронов) и отрицательными (при присоединении электронов). Если атом химического элемента потерял все электроны своей оболочки, то ион этого химического элемента представляет собой «голое» ядро.

Ядро любого атома состоит из протонов и нейтронов. Только у самого распространенного изотопа водорода ядро состо-

ит из одного протона. Протоны имеют положительный электрический заряд, принимаемый за единицу ($Z = 1$). Нейтроны электрически нейтральны, их заряд равен нулю ($Z = 0$). Поэтому заряд ядра атома Z любого химического элемента равен числу содержащихся в нем протонов. Заряд ядра Z также равен порядковому номеру элемента в периодической системе элементов Менделеева. Например, для гелия, химического элемента с порядковым номером 2, заряд ядра равен 2 ($Z = 2$). Заряд ядра углерода, как и его порядковый номер в периодической системе элементов, равен 6 ($Z = 6$).

К легким ионам относят протоны и ядра гелия, к тяжелым — все остальные.





Директор ЛРБ ОИЯИ,
член-корреспондент
РАН Евгений Красавин

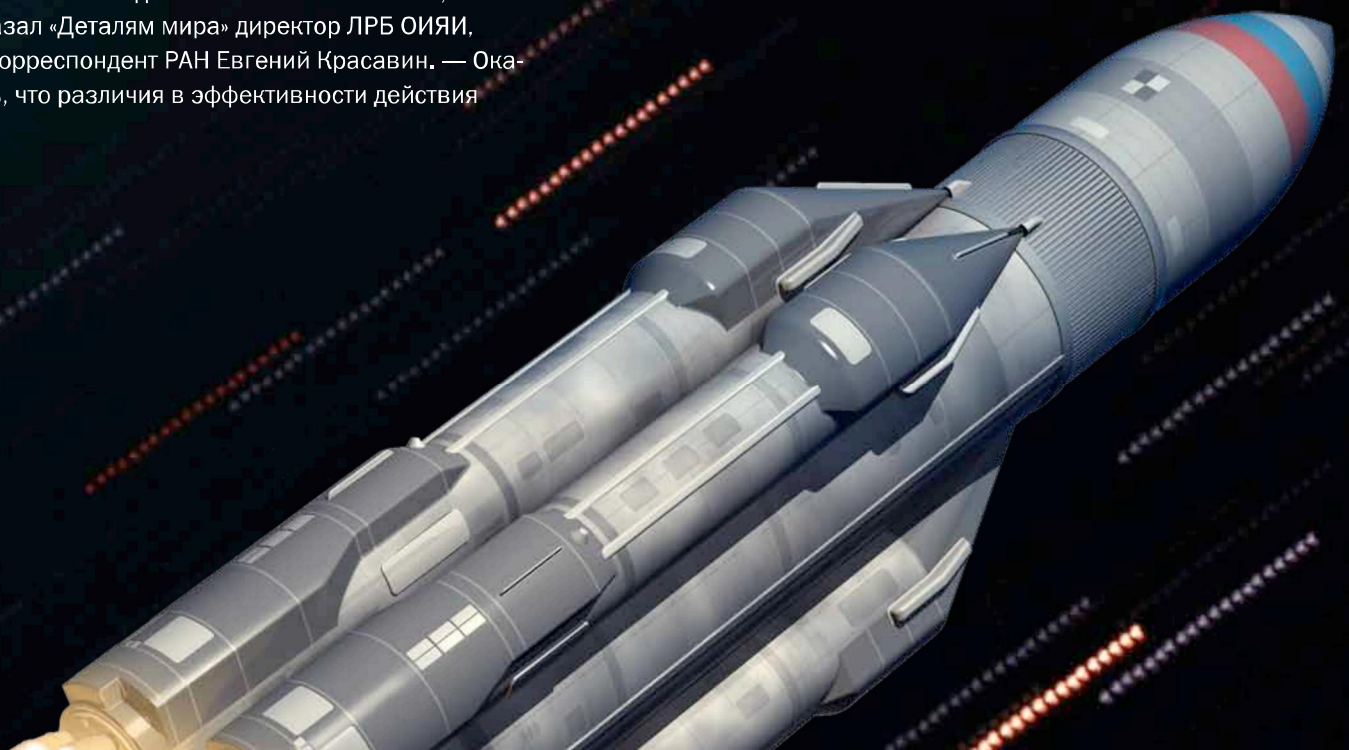
ТЯЖЕЛЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОТ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Космические тяжелые ионы обладают настолько высокой энергией, что «прошивают» обшивку современного космического корабля в открытом космосе, подобно пушечным ядрам, бомбардирующим тонкий шелк. Как это может повредить в долгом путешествии здоровью посланцев Земли, выясняли ученые Лаборатории радиационной биологии (ЛРБ) ОИЯИ в сотрудничестве с Институтом медико-биологических проблем РАН (ИМПБ РАН), Институтом биохимии РАН (ИБХ РАН) и во взаимодействии с биологами NASA.

«Нам удалось разобраться в том, почему одинаковые дозы разных излучений (поток тяжелых ионов, нейтронное, гамма-излучение) вызывают неодинаковое воздействие на живые клетки, — рассказал «Деталим мира» директор ЛРБ ОИЯИ, член-корреспондент РАН Евгений Красавин. — Оказалось, что различия в эффективности действия

разных излучений связаны как с физическими характеристиками излучений, так и с биологическими свойствами самой живой клетки — ее способностью восстанавливать повреждения ДНК после облучения. В экспериментах на ускорителях тяжелых ионов мы выяснили, что самые сильные повреждения ДНК возникают под воздействием тяжелых ионов. Разницу между воздействием рентгеновских лучей (пучка фотонов) и пучка тяжелых ионов можно представить себе образно так: выстрелить из ружья в стену мелкой дробью — это вред от рентгеновских лучей, выстрелить в ту же стену пушечным ядром — это разрушения от одного тяжелого иона. Тяжелые частицы, обладая большой массой, теряют значительно больше своей энергии на единицу пройденного пути, чем их более легкие собратья. Оттого-то, проходя сквозь клетку, тяжелый ион на своем пути производит большие разрушения. Когда через ядро клетки проходит тяжелая частица, образуются повреждения «кластерного типа» с множественными разрывами химических связей в одном фрагменте ДНК. Они и вызывают различные типы тяжелых хромосомных поломок в ядрах клеток».

Далее логика рассуждений ученых была такой. Ионы водорода (протоны) с энергией в 200–300 МэВ/нуклон успевают до полного торможения пробежать в воде путь длиной 11 сантиметров. Человеческое тело на 90% состоит из воды. Экстраполируя этот результат на живой человеческий организм, получаем вывод: даже легкие ионы на своем пути смогут повредить тысячи клеток нашего тела. В случае тяжелых ионов с зарядом более 20 следует ожидать еще более плачевный для здоровья результат.



НУКЛОН

Нуклон (от лат. *nucleus* — «ядро») — единое название протона и нейтрона — частиц, из которых состоит атомное ядро.

Для энергии частиц используют следующие сокращения:

10^3 эВ — кэВ (килоэлектронвольт);

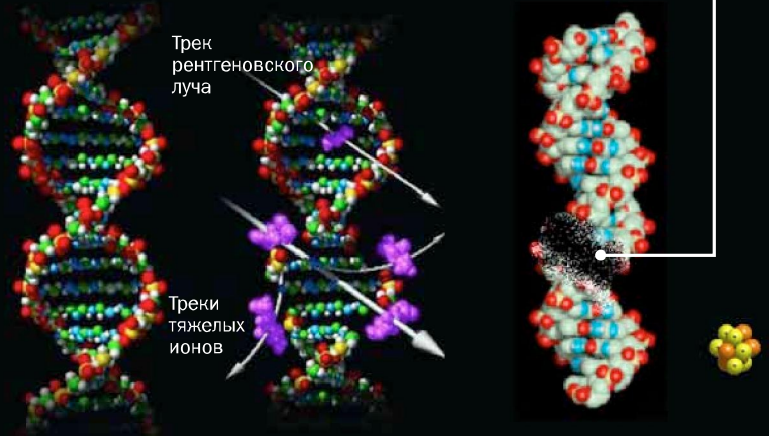
10^6 эВ — МэВ (мегаэлектронвольт);

10^9 эВ — ГэВ (гигаэлектронвольт) и т. д.

Для энергии ядер, которые тяжелее протонов, используют единицу измерения «электронвольт на нуклон» — полная энергия частицы, разделенная на число нуклонов в ядре.

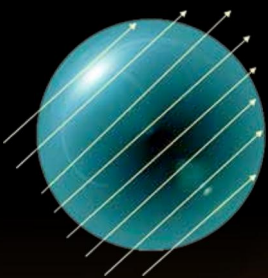
КЛАСТЕРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК

ФРАГМЕНТ ДНК



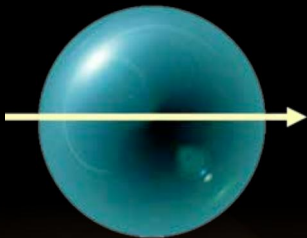
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ В ОБЛУЧАЕМОМ ВЕЩЕСТВЕ

1 единица дозы



РЕНТГЕНОВСКОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ

1 единица дозы



ТЯЖЕЛЫЙ ИОН
ЖЕЛЕЗА

УДАР ПО ЦЕНТРАМ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКОМ

На следующем этапе ученые определили, повреждение каких органов наиболее критично для выживания человека, а также какие органы наиболее уязвимы. «Если подумать о быстро обновляющихся тканях организма, таких, как кровь или кожа, то их повреждения в силу естественных свойств будут быстро восстанавливаться, — пояснил «Деталим мира» директор ЛРБ ОИЯИ РАН Евгений Красавин. — Зато на статические ткани — центральную нервную систему или глаз, например, не имеющие естественной способности быстрого ремонта повреждений, постоянный поток тяжелых ионов окажет наслаивающееся вредное воздействие, вызывая регулярную гибель клеток. А ведь центральная нервная система и глаз — управляющие «чипы» нашего организма».





ГРЕЙ И ЗИВЕРТ

Грей (Гр) — единица измерения поглощенной дозы радиации — количества энергии излучения, поглощенной единицей массы вещества.

1 Гр = 1 Дж/кг

Зиверт (Зв) — единица измерения эквивалентной дозы радиации — поглощенной дозы, умноженной на коэффициент качества ионизирующего излучения.

Коэффициент качества ионизирующего излучения равен:

1 — для рентгеновского, бета- и гамма-излучения;

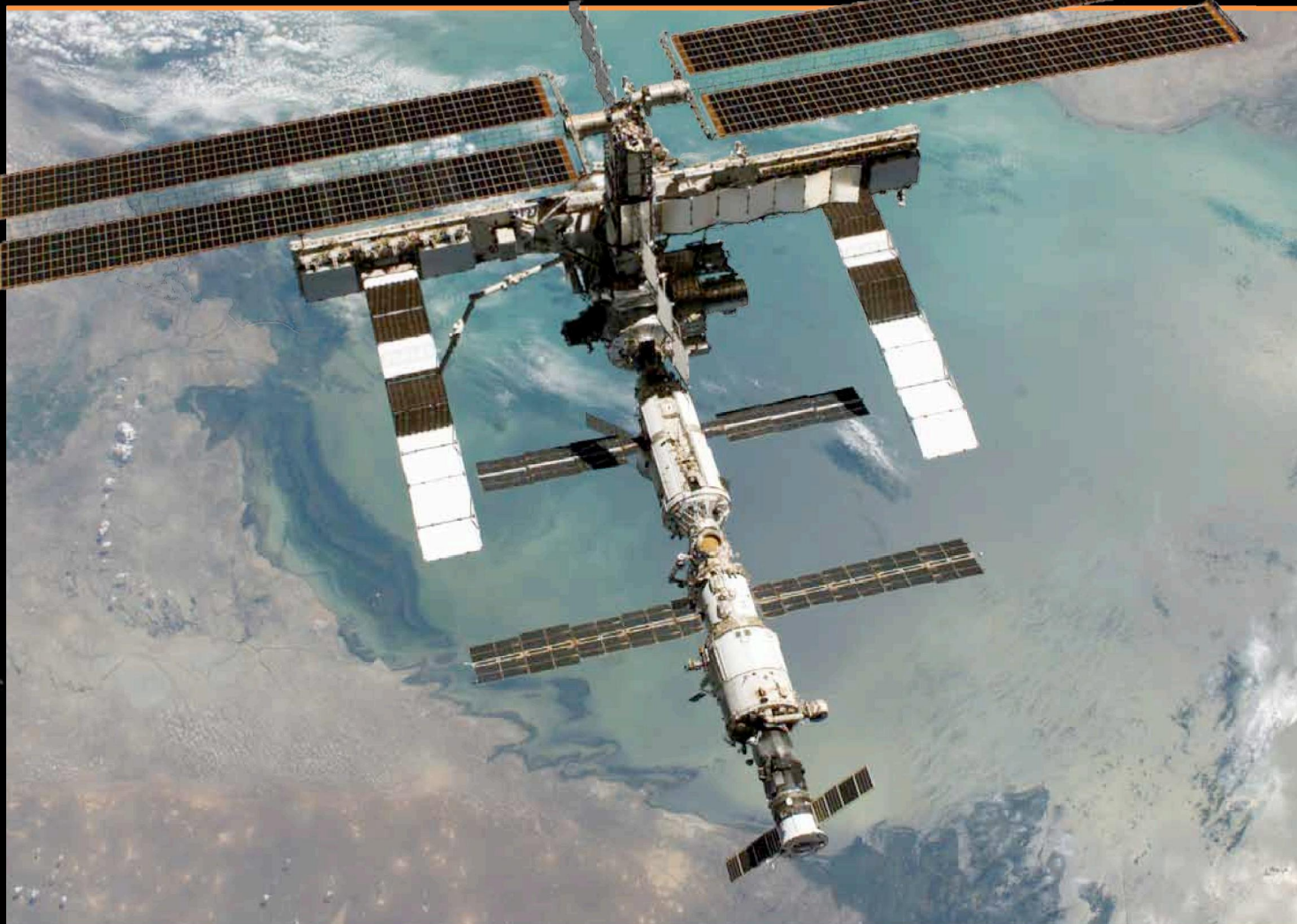
3–10 — для протонов и быстрых нейтронов;

20 — для альфа-частиц и тяжелых ядер.

1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Дж/кг.

В экспериментах на животных в Дубне группа радиобиологов под руководством академика РАН Михаила Островского изучила механизмы воздействия тяжелых ионов на структуры глаза — хрусталик, сетчатку и роговицу. На ускорителях ОИЯИ пучками протонов с энергией 100–200 МэВ облучали мышей и растворы кристаллинов (белков) их хрусталика. О результатах академик Островский и сообщил 27 июня в своем докладе на выездном заседании бюро ОФФМ РАН в Дубне.

«Хрусталик глаза человека и позвоночных животных на 90% состоит из альфа-, бета- и гамма-кристаллинов, — напомнил Островский. — Содержание этих белков в хрусталике примерно одинаково, однако они существенно отличаются по структуре и молекулярной массе. Альфа-кристаллины служат шаперонами (от англ. chaperones — класс белков, главная функция которых состоит в восстановлении правильной третичной структуры поврежденных белков). Они защищают бета- и гамма-кристаллины, которые наиболее чувствительны к повреждающим воздействиям. Воздействие ультрафиолетового излучения или радиации, например, способно вызывать



ЗАОРБИТАЛЬНАЯ ДОЗА

«На орбитальной станции «Мир» дозы радиации изменялись в пределах от 100 до 800 мкГр (106 Гр) в сутки, что является допустимой величиной для человека, — рассказывает «Деталим мира» директор НИИЯФ МГУ Михаил Панасюк. — Но все же это больше, чем получает персонал атомных станций в нормальных условиях. Это воздействие частиц радиационных поясов, причем лишь в одном месте — в районе Южной Атлантики, там радиационные пояса «провисают» над Землей из-за существования глубоко под землей магнитной аномалии. Космические корабли, летающие над Землей, как бы чиркают пояса радиации в течение очень непродолжительного времени на витках, проходящих

район аномалии. На других витках потоки радиации отсутствуют и не создают хлопот участникам космических экспедиций. Большие сложности для полетов космонавтов могут создать также солнечные вспышки, генерирующие высокоэнергетичные частицы (с энергией до нескольких гигаэлектронвольт). Какая доза радиации может быть получена космонавтом в случае прихода солнечных частиц к Земле — во многом воля случая. Она определяется в основном двумя факторами: степенью искажения магнитного поля Земли во время магнитных бурь и параметрами орбиты космического аппарата в течение солнечного события. Если орбита корабля в момент вторжения солнечного ветра

не проходит опасных высокоширотных участков, то можно считать, что экипажу повезло.

При полете на Марс суммарная доза радиации от галактических и солнечных космических лучей за время полета будет в несколько раз выше дозы радиации на МКС за тот же период. Так, за год полета на Марс поглощенная доза, связанная с галактическим излучением, составит 0,2–0,3 зиверта (без защиты). Для сравнения, доза от одной из самых мощных солнечных вспышек прошлого столетия (август 1972 года) составила 0,05 зиверта. Поэтому риск радиационных последствий, связанных с выполнением дальних космических миссий, значительно возрастает».

агрегацию кристаллинов — появление непрозрачных волокон в хрусталике. В результате агрегации образуются крупные светорассеивающие конгломераты, которые приводят к помутнению хрусталика, то есть к развитию катаракты. Проходя через хрусталик глаза, даже единичные тяжелые ионы спустя некоторое время могут вызвать его помутнение. Пороговая доза для развития катаракты под воздействием тяжелых ионов — 0,2 грея. Сетчатка глаза в зрелом состоянии резистентна к радиации. Но в ее структуре есть так называемые мюллеровские клетки, способные функционировать как стволовые. Они обладают регенеративной активностью и очень чувствительны к облучению тяжелыми ионами».

Есть у проблемы и психологический аспект. Попадая в сетчатку, тяжелые ядра могут вызывать фосфены — вспышки света, которые человек видит даже с закрытыми глазами. Иногда они появляются в виде ярких звездочек, искр, черточек, пунктирных линий. Фосфены даже на околоземной орбите наблюдали многие американские астронавты и советские космонавты, в частности, Николай Рукавишников на борту «Союза-10». Что увидят космонавты в дальнем космосе, пронизанном галактическим излучением, и не нарушат ли фосфены нормальное самочувствие участников полета, пока можно только гадать.

ВЕРНУТЬСЯ НА ЗЕМЛЮ ЧЕЛОВЕКОМ РАЗУМНЫМ

Меньше всего радиобиологами изучено повреждающее действие тяжелых ионов на центральную нервную систему. По оценкам специалистов NASA, в ходе марсианской миссии от 2 до 13% нервных клеток пересекутся с как минимум одним ионом железа. А сквозь ядро каждой клетки организма раз в три дня будет пролетать один протон. Поэтому возникает серьезная опасность необратимых нарушений поведенческих реакций экипажа корабля. Это ставит под угрозу выполнение миссии в целом. Мозг — очень тонкий инструмент, и нарушение даже небольших его участков может приводить к утрате работоспособности всего организма, как это бывает у людей, перенесших инсульт, или у тех, кто страдает болезнью Альцгеймера.

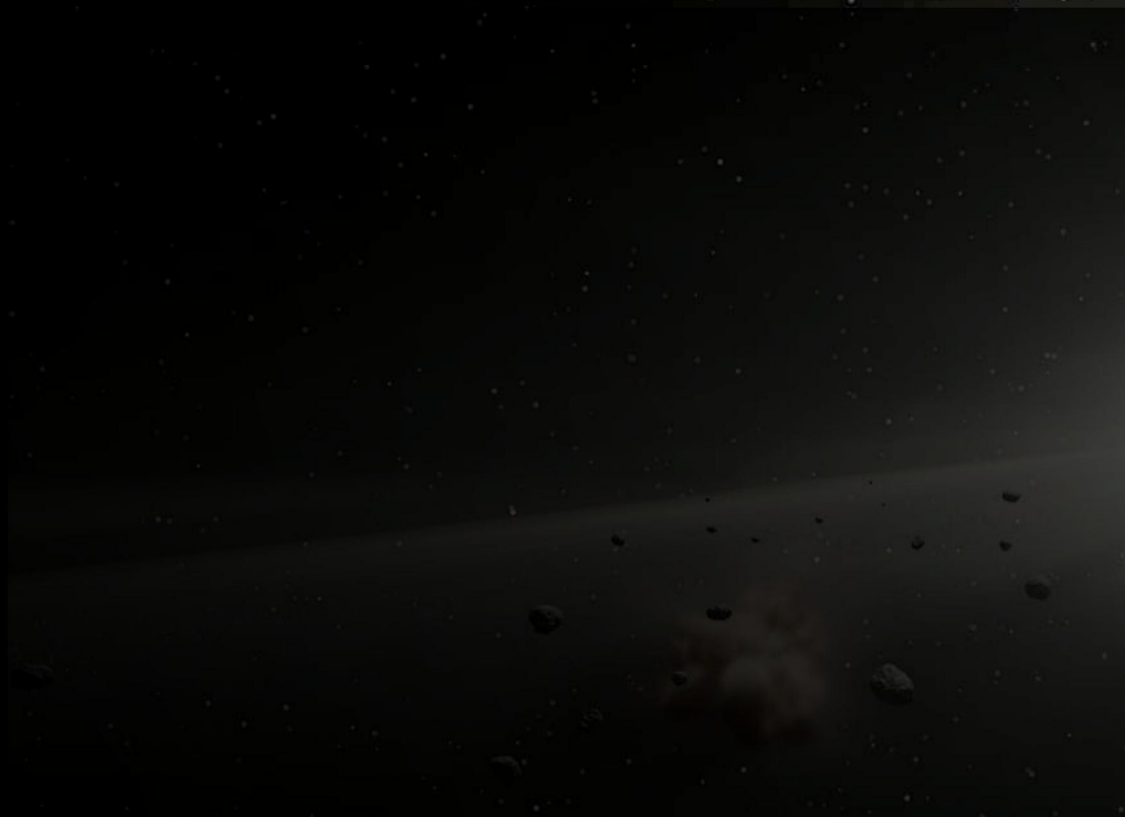


Сотрудники Лаборатории космической радиации NASA в Брукхейвене с помощью пучка ускоренных до энергии 1 ГэВ/нуклон ионов железа смоделировали галактическое излучение на предускорителе тяжелых ионов коллайдера RHIC. Эксперимент с крысами назывался «когнитивный тест». В круглом бассейне под тонким слоем непрозрачной воды экспериментаторы расположили небольшую твердую площадку. В этот бассейн запускали лабораторных крыс — сначала здоровых, а затем облученных пучками ионов железа, и следили за тем, насколько быстро животные могут найти эту площадку и залезть на нее. Здоровые крысы быстро обнаруживали площадку и направлялись к ней по кратчайшей траектории. Облучение тяжелыми ионами резко изменяло когнитивные функции (способность к обучению)



животных. Спустя месяц после облучения поведение крысы резко менялось. Она петляла, долгое время кружила по бассейну, пока ей практически случайно не удавалось почувствовать твердую почву под ногами. Мыслительные способности животного оказались сильно нарушенными. При облучении крыс рентгеновским и гамма-излучением такого эффекта не наблюдалось.

Чтобы представить возможные последствия облучения организма человека тяжелыми ионами, необходимо проиграть модель космической опасности на приматах, считают исследователи. Тем не менее выявленный на грызунах вред от воздействия галактического излучения тяжелых ионов достаточно убедителен. И о нем нельзя забывать, отправляя людей в длительный полет на Марс.



БРОНЯ, СКОРОСТЬ И СОЛНЦЕ В СПИНУ

Из того, что на сегодня известно физикам и биологам, следует: нельзя свести к нулю риск радиационного поражения космонавтов в течение более чем годового путешествия на Марс. Способы уменьшить этот риск существуют пока в виде идей.

Идея первая: спланировать полет на Марс во время максимума цикла солнечной активности. В это время поток галактических космических лучей будет меньше из-за того, что межпланетное магнитное поле Солнечной системы искривит траектории галактических космических лучей, «выметая» из Солнечной системы частицы с энергиями, меньшими, чем 400 МэВ/нуклон.

Идея вторая: значительно снизить дозы радиации от галактического излучения с помощью надежной защиты корабля и предусмотреть в конструкции корабля специальный отсек-укрытие с более мощной защитой от сильных потоков непредсказуемого солнечного ветра. Уже разрабатываются новые виды защитных материалов, которые стали бы эффективнее ныне используемого алюминия, — например, на основе органических полимеров. С их помощью можно создать защиту, способную при толщине 7 сантиметров уменьшать дозу радиации на 30–35%. Правда, этого мало, считают ученые, толщину защитного слоя надо увеличивать. А если не выходит, надо сокращать длительность полета — скажем, хотя бы до 100 дней. 100 дней — цифра пока лишь интуитивно обоснованная. Но в любом случае летать надо быстрее.

Идея третья: снабдить пилотов марсианского корабля эффективными противорадиационными препаратами, которые смогли бы значительно укрепить связи между белками ДНК, понизив их уязвимость перед бомбардировкой тяжелыми ионами.



Идея четвертая: создать вокруг космического корабля искусственное магнитное поле, подобное земному. Есть проект сверхпроводящего тороидального магнита, внутри и вне которого поле приближается к нулю, чтобы не навредить здоровью космонавтов. Мощное поле такого магнита должно отвести от корабля большую часть космических частиц, снизив дозу радиационного облучения за время экспедиции на Марс в три-четыре раза. Прототип такого магнита уже создан и будет использован в эксперименте для исследования космических лучей на борту Международной космической станции.

Пока идеи защиты марсианского экипажа не материализовались, выход один, утверждают радиобиологи. Нужно продолжать модельные эксперименты на ускорителях тяжелых ионов. Среди таких уникальных ускорителей — нуклотрон Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ и создающийся на его базе коллайдерный комплекс NICA. На возможности этих установок ученые возлагают большие надежды. И говорят, что когда во всем разберутся и смогут нейтрализовать угрозу, только тогда смогут одобрить пилотируемый полет на Марс. А пока пусть летают роботы. **ДМ**

