

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

523.165(048)

**ВИЗУАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ**

При полете космического корабля «Аполлон-11» космонавт Олдрин видел световые вспышки, с частотой примерно 1 вспышка в минуту. Он рассказал о них товарищам и попросил проверить его наблюдения. Нейл Армстронг и Майкл Коллииз подтвердили его результат — они тоже видели «световые точки», «молнии», иногда «двойные точки». Экипажи последующих кораблей «Аполлон» также видели такие вспышки — даже когда их глаза были закрыты. Причина вспышек — космические лучи, проникшие сквозь корпус корабля, их взаимодействие с глазным яблоком<sup>1</sup>.

На возможность этого эффекта проф. Тобиас (Калифорнийский университет) указал еще за 11 лет до полета «Аполлона». Изучая радиационную опасность при космических полетах, он пришел к выводу, что человек, адаптированный в темноте, должен «видеть» траектории с сильной ионизацией в виде небольших световых вспышек.

Комсток и др.<sup>2</sup> обнаружили в пластмассовых шлемах космонавтов кораблей «Аполлон» следы космических лучей. По их оценке, за два года полета к Марсу при отсутствии специальной защиты космонавта повреждается таким путем существенно важное для его жизнедеятельности число клеток, которые уже не восстанавливаются. Повреждаются 0,12% невосстанавливающихся клеток в коре головного мозга, 0,05% клеток сетчатки глаза и свыше 1% клеток центральной нервной системы.

Аналогичные опыты с искусственными космическими лучами — сверхбыстрыми частицами, полученными на ускорителях, провели недавно в Калифорнийском университете проф. Тобиас и его сотрудники. Был использован протонный синхротрон, ускоряющий протоны до энергий  $36 \text{ Гэв}$ .

Трое ученых — директор лаборатории лауреат Нобелевской премии Мак-Миллэн, астронавт Филип Чэпмен и Тобиас, — поместив голову в поток ионов азота, наблюдали световые вспышки. Вспышки наблюдались только в тех положениях, когда ионный пучок проходил через внутреннюю часть сетчатки глаза. Если ионный пучок пролизывал затылочные доли головного мозга (где формируется нервное восприятие зрения), переднюю часть сетчатки или, наконец, стекловидное тело, то вспышек не наблюдалось. Отсюда было сделано заключение, что быстрые ионы дают «молнии» и вспышки лишь тогда, когда они взаимодействуют непосредственно с сетчаткой и находятся притом в конце своего пробега, когда ионизация максимальная.

Еще до этих опытов аналогичные вспышки наблюдались от нейтронов — ряд экспериментаторов (США, Англия) помещали голову в пучок нейтронов и тоже видели «молнии». Нейтроны рождали заряженные частицы, которые воздействовали на сетчатку.

В космосе энергии ионов могут быть и больше, чем в лабораторных ускорителях. Соответственно часть вспышек создается еще и другим механизмом — черенковским излучением быстрых ионов в стекловидном теле глаза (Джелли, Фазно, Чермен).

Обнаружить черенковское излучение можно только очень чувствительными приемниками, например фотоумножителем. Но глаз, адаптированный в темноте, в идеальных условиях может сравниться по своим характеристикам с наилучшими электронными приборами.

Интенсивность вспышек пропорциональна квадрату удельного заряда частицы. Именно поэтому наземные наблюдатели таких визуальных вспышек не наблюдали. Вне атмосферы космические лучи состоят из частиц с широким спектром удельного заряда — протонов,  $\alpha$ -частиц, ядер углерода, кислорода, железа и других элементов. Но тяжелые ядра не достигают земной поверхности из-за поглощения и распада в атмосфере. У земной поверхности космические лучи (обычно вторичные) состоят из частиц с малым зарядом — электронов,  $\mu$ -мезонов и небольшого числа протонов. Их заряд

мал и потому черенковское излучение невелико, ниже предела чувствительности глаза. Черенковские счетчики применяются, но с фотоэлектрической регистрацией.

В начале 60-х годов Портер и д'Арси (Ирландия) исследовали корреляцию между космическими лучами у земной поверхности и световыми вспышками. Космические лучи (в основном — мезоны) регистрировались спинтилляционными счетчиками, установленными над наблюдателем и под ним. Наблюдатель проходил адаптацию в темноте не меньше 30'. Портер и д'Арси пришли к выводу, что наблюдавшиеся вспышки могли быть действительно обусловлены космическими лучами, однако не указали никаких конкретных механизмов таких световых вспышек.

Их опыты повторили Чэпмен и Роулэнд. Статистический анализ доказал положительную корреляцию между космическими лучами и световыми вспышками: когда космические лучи ( $\mu$ -мезоны) проникали в глаз наблюдателя, наблюдались вспышки.

Когда счетчики помещались над зрительным центром мозга, корреляции между вспышками и космическими лучами не наблюдалось. Отсюда был сделан вывод, что очаг возбуждения — не нервные центры зрения, а сетчатка.

Черенковское излучение испускается в конусе вдоль направления движения частицы. Если бы оно генерировалось в стекловидном теле, то, глядя на источник космических лучей анфас, наблюдатель видел бы вспышки более яркими, чем при освещении глаза с боков, в профиль. Однако на опыте такой разницы в интенсивности наблюдается не было, что говорит о непосредственном воздействии на сетчатку.

Другая группа исследователей — Тобиас, Вэйдингер, Лайман (лаборатория Беркли, Калифорнийский университет, США), напротив, не смогла заметить световых вспышек от  $\mu$ -мезонов космических лучей — ни на земной поверхности, ни на высоте 10 км (на самолетах). Эта группа отмечает также, что наблюдатели, облучившиеся положительным пучком  $\mu$ -мезонов малой интенсивности (с импульсом 1,5  $\text{GeV/c}$ ), никаких световых вспышек не обнаружили.

Напротив, при облучении нейтронными пучками в лаборатории (лаборатория Беркли — США; Харуэлл, Бирмингемский университет — Англия) наблюдатели видели световые вспышки. После надлежащей адаптации в темноте Тобиас и Вэйдингер (Беркли) помещали свои головы в пучок нейтронов от 467-см циклотрона. При включении пучка они наблюдали вспышки типа звезд. Группа Джелли (Харуэллский атомный центр) наблюдали как точки, так и «молнии». Направление «молний» было параллельно направлению пучка.

Когда пучок входил в тыльную часть головы, число вспышек уменьшалось. Это обстоятельство свидетельствует, в согласии с другими экспериментальными данными, что взаимодействие пучка со зрительными центрами не является причиной вспышек. Уменьшение числа вспышек можно объяснить абсорбцией нейтронов в костях черепа и в веществе мозга при облучении его с затылочной стороны.

Наиболее вероятный механизм вспышек — непосредственное возбуждение сетчатки заряженными частицами, генерируемыми при ядерных реакциях с нейтронами, а также непосредственно атомными ядрами. Частота вспышек и длина канала «молний», по оценкам наблюдателей, согласуется с характеристиками протонов после их соударения с нейтронами.

В этих лабораторных экспериментах с нейтронными пучками черенковское излучение механизмом служить не могло. Порог энергий для возбуждения протонами черенковского излучения в стекловидном теле примерно 500 Мэв. Эта энергия не всегда достигалась, так что, по крайней мере при малых энергиях, вспышки создаются ионизацией в сетчатке или близлежащих областях. В полетах вблизи Луны эффект Черенкова мог послужить одним из механизмов вспышек. Однако опыты с пучками ионов азота показывают, что, хотя черенковское излучение тут не обязательно для объяснения вспышек, оно может возникнуть при прохождении сквозь вещество быстрых частиц. Об этом говорят простые опыты, проведенные космонавтами «Аполлона-14» и «Аполлона-15».

Интересно, что до полетов «Аполлона-11» космонавты таких вспышек не отмечали. Между тем орбиты космических кораблей «Джемини» тоже проходили над атмосферой, и космические лучи не испытывали поглощения. Различие можно объяснить двумя причинами. Во-первых, земное магнитное поле достаточно сильно, чтобы отклонить космические лучи. Во-вторых, в этих ранних полетах космонавты держали кабинные огни включенными и постоянно разговаривали с Землей. В этих условиях не было ни периодов покоя, ни адаптации на темноту, необходимых для наблюдения вспышек.

Эффект поражения частицами очень больших энергий невозстанавливаемых клеток глаза и нервных клеток мозга показывает всю сложность проблемы радиационной защиты<sup>2</sup>. От солнечных космических лучей, от не слишком сильных вспышек можно защититься сравнительно легко. Но частицы больших энергий (галактические космические лучи) остановить нельзя. Отсюда парадоксальный вывод — именно в годы солнечной активности (когда магнитное поле и иррегулярности солнечного ветра значительны и задерживают галактические солнечные лучи) уменьшается опасность разрушения нервных и глазных клеток при длительных полетах.

Эффект возбуждения  $\gamma$ -лучами и быстрыми электронами свечения в веществе глаза известен давно. Еще в классической работе Черенкова<sup>3</sup> принимались специальные меры (свинцовая защита) для его исключения. Экспериментаторы, работавшие с космическими лучами, наблюдали и «вспышки».

Новым является систематическое исследование эффекта (локализация, механизм) не только с природными, но и с лабораторными источниками и его важные применения в планировании космических полетов.

*М. А. Гинцбург*

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. Wick, Science 175, 615 (1972).
2. G. M. Comstock, R. L. Fleisher, W. R. Giard, H. R. Hart, Jr., G. E. Nicholis, P. V. Price, Science 172, 154 (1971).
3. П. А. Черенков, Тр. ФИАН СССР 2, вып. 4 (1944).