

## Микромониторинг состояния поля ионизирующих частиц, образованного космическими лучами в приборах космических аппаратов в феврале – марте 2023 г.

Обособление российской исследовательской программы в рамках ISO практически совершилось. Это обстоятельство приводит к необходимости поиска более доступных и не менее эффективных методов мониторинга поля ионизирующих частиц на космических аппаратах, востребованных, прежде всего, при производстве стойкой «импортозамещающей» космической микроэлектроники (МЭ).

Обоснование работы: В настоящей работе рассматривается возможность использования парадигмы нанотермодинамики для описания процессов, протекающих при взаимодействии заряженных частиц с материалом чувствительного объема (ЧО), подобно тому, как это используется в теории микроэлектроники.

В этом случае уравнением Больцмана определяется функция  $f(r, v, t)$ , такая, что произведение  $f(r, v, t)d^3r d^3v$  есть поток ионизирующих частиц через элемент объема  $d^3r$  в точке  $r$ , движущихся со скоростью  $(v, d^3v)$  в момент времени  $t$ . Исходят из того, что начальные условия для последующих столкновений определяются только функцией распределения  $f(r, v, t)$  и не зависят от предыдущих столкновений. В модели однокомпонентной среды уравнение Больцмана записывается в виде:

$$v \left( \frac{d}{dt} + \nabla \cdot (v f) \right) = K(v, v_1; v', v'') d^3v_1 d^3v' d^3v'' - f \nabla \cdot (k v)$$

где  $K(v, v_1; v', v'')$  — дифференциальное сечение рассеяния падающей частицы со скоростью  $v$  на атоме мишени, имеющем скорость  $v_1$ , с переходом падающей частицы в интервал скоростей  $d^3v$  вблизи  $v'$ , а атома мишени — в интервал  $d^3v''$  вблизи  $v''$ . При этом,  $f = f(r, v, t)$ ,  $f' = f(r, v', t)$  и т.д., а  $k = (r, v, t)$  есть внешняя сила, действующая на движущуюся частицу. Для описания процесса в двухкомпонентной плазме, состоящей из электронов и ионов атомов среды, формирующейся в треке частицы, требуется добавление соответствующих индексов, что приводит к иерархии сцепленных уравнений, которые иногда могут быть расцеплены. В большинстве случаев это сделать не удаётся. Однако, становится ясно, что нанотермодинамика трека, проходящего через ЧО, и, следовательно, возникновение одиночных событий в МЭ определяются плотностью поглощённой в зоне трека мощности. Эти соображения являются вполне убедительным основанием для использования микродозиметрии при оценке радиационной стойкости микроэлектроники.

Техника мониторинга: Матричный сенсор ПЗС-матрица SOHO LASCO C3 Textronix с  $1024 \times 1024$  пикселей и размером пикселя  $21 \text{ мкм}^2$ . СТЕ - 0.999999; электронов на DN - 13, полная емкость ямы 160 000 электронов. Пространственное разрешение -  $3 \times 10^{-4} \text{ мм}^3$  (объем вокселя), временное разрешение - 20 сек. . Расположение SOHO - точка Лагранжа L1.

Методика мониторинга: использованы принципы построения цифровой двойной коррелированной выборки для обработки фильма с матричного фотоприемника для выделения однокадровых транзитов локального энерговыделения, и также, феноменологическая модель нейронной системы обработки и фиксации информации.

Результаты мониторинга в феврале - марте 2023 г. : частотные спектры удельной энергии в единицах фемтокулон/воксель (абсцисса):

минимум февраля максимум февраля минимум марта максимум марта

С данными был проведен корреляционный анализ, составлена матрица и диаграмма корреляции, проанализирована зависимость измеренных нами частотных спектров удельной энергии от следующих параметров: Dst, Kp, Ap, Wolf, плотность потока протонов и ядер гелия..

Выводы:

1. Корреляционной зависимости между стандартными параметрами космической погоды и микродозиметрическими данными не прослеживается.
2. Имеются определённые данные о наличии корреляции между другими индексами космической погоды, в частности DDD, что будет исследовано в дальнейшем.
3. Полученные данные могут быть использованы для создания инженерной модели поля ионизирующих частиц в космических аппаратах для космической медицины и обеспечения радиостойкости электроники.

Секция

**Primary author:** АНОХИН, Михаил Всеволодович (НИИЯФ МГУ)

**Presenter:** АНОХИН, Михаил Всеволодович (НИИЯФ МГУ)