ISSN 1992-6502 (Print)
2018. Т. 22, № 1 (79). С. 44–50
Вестник УГАТУ
ISSN 2225-2789 (Online)
http://journal.ugatu.ac.ru

УДК 629.78:621.039

ЯВЛЕНИЕ НАВЕДЕННОЙ РАДИАЦИИ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОТ БОРТОВОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЧЕРЕЗ СРЕДУ СОБСТВЕННОЙ ВНЕШНЕЙ АТМОСФЕРЫ

В. Д. Атамасов [1], И. В. Колбасин [2], И. И. Дементьев [3], А. Н. Устинов [4]

[1]vldmatamasov@mail.ru, [2]kolbasin777ivan@mail.ru, [3]iidementev@mail.ru, [4]anustinov@ mail.ru

[1–3]АО «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В. Фрунзе»
[4]ОАО «Машиностроительный завод «Арсенал»

Поступила в редакцию 15.03.2018

Аннотация. В статье приведены основные понятия и характеристики космической плазмы и выполнено описание собственной внешней атмосферы космического аппарата, зафиксированной в процессе эксперимента в условиях искусственного солнечного затмения по программе совместного полета космических кораблей «Аполлон» – «Союз». Изложено обоснование обнаруженного впервые явления переноса солнечной радиации в неосвещенную часть атмосферной среды. Показано, что свечение теневой области собственной атмосферы вызвано переносом радиации по газопылевой атмосферной плазме, аналогичном явлению наведенной радиации от атомного взрыва.

Ключевые слова: собственная внешняя атмосфера; ядерная энергетическая установка; космический аппарат, наведенная радиация.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что космическое пространство на 95% заполнено плазмой. Плазма рассматривается как неструктурированная квазинейтральная среда, состоящая из большого числа заряженных частиц с коллективной динамикой [1]. Звезды, атмосферы планет, межзвездное и межпланетное пространства представляют собой газ, который под постоянным влиянием космического ионизирующего излучения находится в плазменном состоянии. Главным отличием плазмы от нейтрального газа является свойство амбиполярной диффузии, т.е. постоянная электромагнитная связь частиц, обладающих зарядом, вследствие чего при попытке добавления или изъятия частиц облака плазмы обязательно возникнут силы электромагнитного взаимодействия, что, в свою очередь, приведет к изменению параметров движения всего облака плазмы. Поскольку ни одно из трех агрегатных состояний вещества не имеет подобных свойств, плазму считают четвертой фазой вещества, обладающей новыми свойствами. Для не ионизованного газа характерны тепловые движения нейтральных частиц (атомов, молекул, кластеров, частиц вещества и т.д.), представляющие совокупность прямых отрезков (броуновское движение), а для движения заряженных частиц плазмы присущи законы электромагнитного взаимодействия, в результате чего возникают силы, которые искривляют траектории частиц. Если рассматривать газ и плазму в качестве макросистем, то обнаружим, что при постоянном влиянии на плазменную массу факторов ионизации ее характеристики схожи со свойствами обычного газа. Это обусловлено явлением квазинейтральности плазмы, заключающемся в стремлении сохранить приблизительное равенство разнополярных зарядов в макрообъемах плазменной среды [2].

Степень ионизации плазмы – это отношение ионов к первоначальному числу ато

атомов, которое варьируется в зависимости от факторов, формирующих плазменную среду (ионизация, температура) и скорости ее рекомбинации (воссоединение заряженных частиц в нейтральные атомы). Полностью ионизированная плазма, состоящая только из свободных атомных ядер и электронов, является редко встречающимся явлением, так как в реальных условиях в ней имеется некоторая доля нейтральных частиц. В плазме, используемой в технической газоразрядной аппаратуре, а также имеющейся в ионосфере Земли, заряженные частицы составляют малую долю.

Зависимость между температурой и степенью ионизации плазмы описывается уравнением Саха, которое показывает, что чем меньше плотность газа, тем при меньших энергетических затратах он подвергается ионизации [3]. Это свойство является определяющим при образовании плазмы в космическом пространстве. Наличие бесконечно большого количества вещества, распределенного в пространстве с низкой плотностью, и постоянно действующих источников ионизации характеризует среду, в которой происходит эксплуатация космических аппаратов.

В процессе эксплуатации КА на него действуют ионизирующие излучения, такие как: солнечные космические лучи, галактические космические лучи, высокоэнергичные заряженные частицы, вследствие чего у поверхности КА формируется окружающее его облако частично ионизованной плазмы, получившее название собственной внешней атмосферы (СВА). Плотность плазменной среды и форма СВА зависят от высоты орбиты и времени функционирования аппарата [4].

Облако СВА приобретает вытянутую форму в результате воздействия внешних сил. На низких орбитах основной внешней силой является сила аэродинамического сопротивления за счет действия атмосферы Земли, поэтому облако СВА удлиняется в направлении, противоположном вектору скорости КА. При межпланетных полетах и на высотах в десятки тысяч километров основную роль играет сила давления солнечного ветра. Пространственное распределение плотности СВА КА имеет сложный характер и, как правило, определяется геометрией КА, расположением источников утечки жидкостей и газов, характеристиками и расположением материалов на поверхностях конструкций и т.д. Непрерывное поступление массы вещества, образующего забортное облако, обусловлено дегазацией и сублимацией материалов внешней поверхности КА, утечкой атмосферы из внутренних отсеков, утечкой топлива через клапаны сопел двигателей, выбросов веществ из поверхностей элементов конструкции при их бомбардировках метеороидами и в процессах электрических разрядов и т.п. [5].

В настоящее время потребности КА в энергии возрастают, что приводит к необходимости использования более мощных источников электрической энергии. Для генерации достаточного количества электроэнергии, в качестве альтернативы солнечным батареям, используют ядерные энергетические установки (ЯЭУ). Проектируемые ЯЭУ космического базирования будут способны вырабатывать сотни киловатт и единицы мегаватт электрической энергии, плотность потока нейтронов и гамма-квантов на поверхностях реакторов оценивается в (10^{14} – 10^{15}) нейтр/(см^2·с) и (10^{18} – 10^{19}) МэВ/(см^2·с) соответственно [6], создавая наведенную радиацию, которая распространяется по всему объему СВА и передается на поверхность КА. Собственная внешняя атмосфера окружает КА в течение всего времени летной эксплуатации и может привести к сбоям в работе или ухудшению характеристик бортовой аппаратуры. Актуальность проектных работ по созданию КА с ЯЭУ обусловила необходимость создания теоретических основ для изучения процессов распространения радиационных излучений в плазменной среде забортной внешней атмосферы КА.

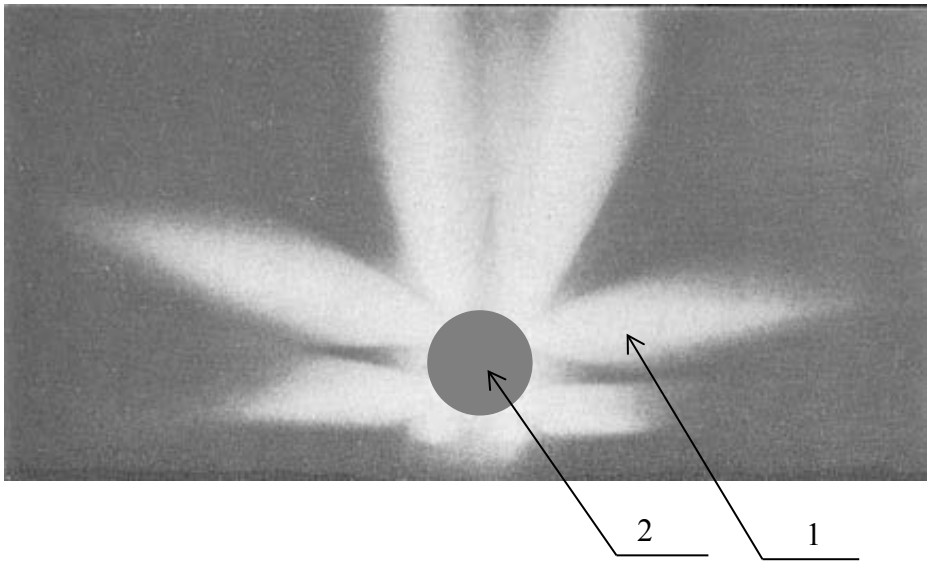


Рис. 1. Фотография собственной внешней атмосферы космического корабля «Аполлон» с работающими двигателями системы ориентации в условиях космического эксперимента по искусственному солнечному затмению: *1 – одна из выхлопных струй, 2 – изображенная фиктивная тень от корабля «Аполлон»*

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В 1975 г. в рамках экспериментального полета «Аполлон» – «Союз» (ЭПАС) был выполнен космический эксперимент «Искусственное солнечное затмение» [7, 8]. Целью данного эксперимента было создание солнечного затмения корпусом космического корабля «Аполлон» с осуществлением фотосъемки внешней короны Солнца и собственной атмосферы космического корабля «Аполлон» [9]. Такая фотосъемка производилась с борта космического корабля «Союз», находящегося в тени от «Аполлона». Изначально предполагалось, что при солнечном затмении на фотографии космического корабля «Аполлон» его неосвещенная торцевая часть должна была выглядеть в виде темного объекта, фиктивно представленного на рис. 1 кругом черного цвета. В то время как собственная атмосфера, находящаяся под облучением Солнца вне пределов тени от корпуса «Аполлона», особенно вытянутые до 50 метров струи выхлопных газов двигателей ЖРД, из-за рассеяния на газопылевых частицах среды солнечного света становятся видимыми. Результаты эксперимента показывают, что, несмотря на затенение прямого излучения Солнца, на многочисленных фотоснимках не наблюдается темного изображения корпуса «Аполлона» (рис. 2), что говорит о «затекании» солнечной радиации в область тени по среде собственной внешней атмосферы, передаваемой от ее освещенных участков.

Некоторые фотографии были сделаны после окончания работы двигателей (рис. 3). Благодаря свечению СВА видно, как происходит ее трансформация после окончания рассеяния струй двигателей. Сопоставляя геометрические размеры КА «Аполлон» (диаметр 4 метра) с облаком частиц СВА видно, что атмосфера может достигать десятков и даже сотен метров в диаметре. Как и на предыдущих снимках, несмотря на то, что конструкция космического корабля «Аполлон» закрывает Солнце, его торцевая часть остается засвеченной, что говорит о продолжении формирования наведенной радиации через среду собственной внешней атмосферы.

Приведенные результаты повторного анализа исследований по программе ЭПАС, ранее не были представлены в опубликованных материалах.

Темные участки в пределах изображения атмосферы космического корабля «Аполлон» (рис. 3) по литературным источникам были обусловлены попаданием в его СВА крупной метеороидной частицы, образовавшей треки и отбросившей атмосферное вещество от корпуса «Аполлона».

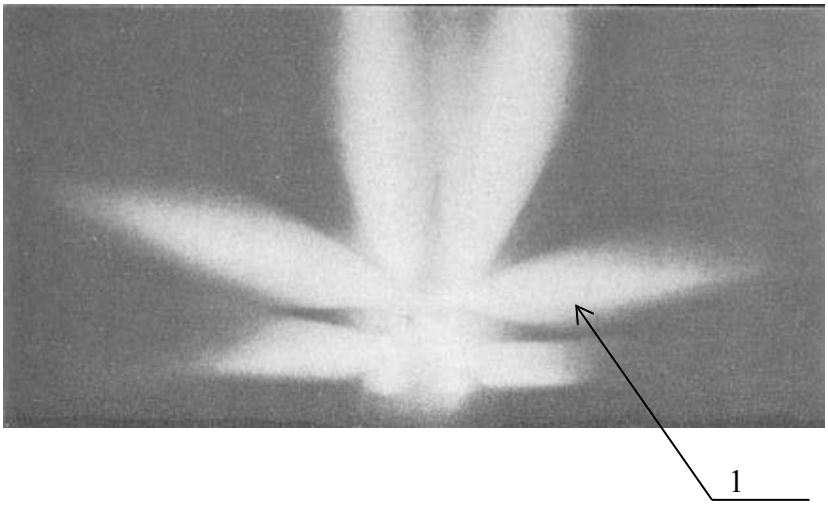


Рис. 2. Фотография собственной внешней атмосферы космического корабля «Аполлон» с работающими двигателями системы ориентации в условиях космического эксперимента по искусственному солнечному затмению: *1 – одна из выхлопных струй*

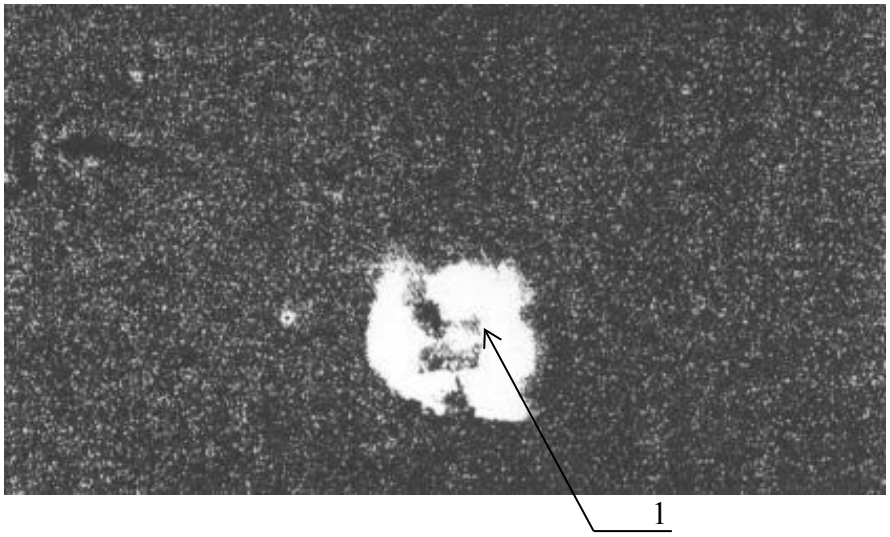


Рис. 3. Фотография собственной внешней атмосферы КА «Аполлон» при выключенных реактивных двигателях системы управления в условиях космического эксперимента по искусственному солнеч-ному затмению: *1 – торец космического корабля «Аполлон», засвеченный наведенной радиацией СВА*

Итак, выполнен анализ результатов экспериментов по изучению процессов передачи солнечного излучения в затененную область пространства, зарегистрированных при создании условий искусственного солнечного затмения в совместном полете космических аппаратов «Аполлон» – «Союз». Выполненные исследования указывают на адекватность наблюдаемых в экспериментах процессов с явлением наведенной радиации, которое теоретически было смоделировано авторами статьи при изучении переноса излучения от бортового ядерного реактора к затененной блоком защиты конструкции КА. Схема структурно-функциональной модели КА с ЯЭУ в условиях воздействий собственной внешней атмосферы представлена на рис. 4.

Здесь представлено схематическое изображение космического аппарата *6*, окруженного собственной внешней атмосферой *9*. Схема включает структурные элементы, аналогичные используемым в космическом эксперименте ЭПАС и функционирующим по одним и тем же физическим законам. Имитатором солнечного лучистого потока является излучение работающего ядерного реактора, осуществляемого с его поверхности в газопылевую

среду собственной атмосферы. Космический аппарат, имеющий чувствительную к излучению конструкцию, отодвинут от ядерной энергоустановки с помощью системы *3* и защищен блоком теневой радиационной защиты *2*, который является аналогом аппарата «Аполлон», создающего тень в космическом эксперименте. Коническая форма радиационной тени на рис. 4 показана под номером *8*. Незатененная часть собственной внешней атмосферы находится под облучением ядерного реактора аналогично выступающей за пределы габаритов космического аппарата «Аполлон» и находящейся под облучением Солнца части СВА и особенно части струй выхлопных газов, истекающих из сопел ЖРД.

Корпускулярные и электромаг-нитные излучения различных частот, включая видимую область спектра, регистрируемую с помощью фотоаппаратуры и, таким образом, выступающую в качестве фактора обнаружения радиации.

Доказанное в космическом эксперименте транспортирование солнечной радиации в неосвещенную область собственной атмосферы КА «Аполлон» является экспериментальным обоснованием достоверности, предложенной теории явления облучения космического аппарта с ЯЭУ от собственного ядерного реактора. Указанное облучение осуществляется от явления наведенной радиации, приводящей к энергообмену ядерного реактора через СВА с конструкцией космического аппарата, обходя блок защиты. Данное явление приводит к снижению эффективности функционирования блока радиационной защиты, что требует разработки дополнительных мер радиационной безопасности КА с ЯЭУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активизация решения новых задач использования космического пространства требует внедрения в перспективные средства космического базирования мощных ядерных энергетических установок, достигающих мегаваттных уровней при многолетних ресурсах космического функционирования. Являются известными и по многим трудам изученными процессы генерации собственных внешних атмосфер космических аппаратов, оказывающих негативные воздействия на функционирования бортовых систем и требующих принятия мер по их нейтрализации. Многие исследования воздействия СВА на поверхность КА показали негативное влияние на работоспособность упругих элементов конструкции, иллюминаторов, линз телескопов и астронавигационных приборов,

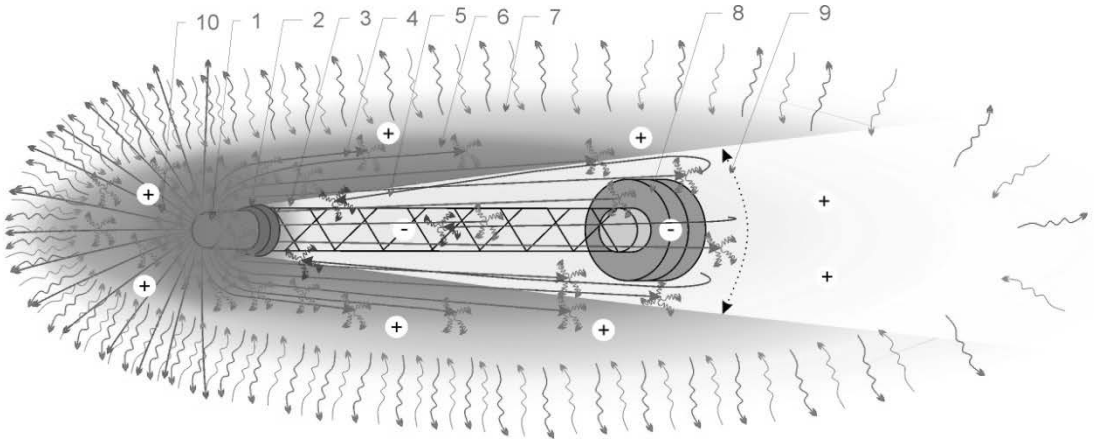


Рис. 4. Схема структурно-функциональной модели КА с активированным ядерным реактором в условиях воздействий собственной внешней газопылевой атмосферы: *1 – ядерный реактор; 2 – блок теневой радиационной защиты; 3 – система отодвижения ядерного реактора; 4 – продольные потоки МДЧ с активированными ядрами веществ; 5 – продольные потоки мелкодисперсных частиц с дезактивированными вследствие произвольных распадов ядрами веществ; 6 – собственная внешняя атмосфера аппарата; 7 – поверхностный слой собственной внешней атмосферы; 8 – модули специальных и служебных систем; 9 – телесный угол тене-вой радиационной защиты; 10 – область интенсивной активации ядер веществ атмосферы*

а также на функционирование солнечных батарей, терморегулирующих покрытий и т.д. [2, 4].

Дальнейшее повышение энерговооруженности современных КА с ядерными энергетическими установками неизбежно приведет к вопросу о постоянном увеличении защиты бортовой аппаратуры КА от негативного влияния СВА.

Группа сотрудников научной школы АО «КБ «Арсенал» и «МЗ «Арсенал» выполнила анализ результатов международного эксперимента по программе совместного полета космических аппаратов «Союз» – «Аполлон» и провела их сравнение с теоретическими данными, полученными с помощью структурно-функциональных моделей сложных технических систем – «КА с ЯЭУ + СВА». Целью космического эксперимента ЭПАС явилось обнаружение светимостей и изучение характеристик солнечной короны и собственной внешней атмосферы КА. Для достижения указанной цели в космическом пространстве было создано искусственное солнечное затмение. Повторный анализ результатов ЭПАС позволил выявить новый процесс, не получивший описания в публикациях материалов эксперимента, – это процесс «затекания» солнечной радиации в затененную, т.е. не облучаемую Солнцем, область забортного пространства КА. Аналогичный результат был обоснован при изучении процессов переноса радиации ядерного реактора по плазменной среде СВА на защищенную блоком теневой радиационной защиты конструкцию КА. Данное явление, аналогичное процессу наведенной радиации, наблюдаемой при атомных взрывах и авариях на атомных электростанциях, требует глубокого изучения и принятия дополнительных мер радиационной безопасности КА с ЯЭУ. Исходя из этого необходимо уже на начальных этапах работ по проектированию космических аппаратов с ЯЭУ учитывать влияние наведенной радиации на бортовую аппаратуру и осуществлять конструкционные мероприятия по минимизации ее действий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З.** Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979. **[** L. A. Arcimovich, R. Z. Sagdeev, *Plasma physics for physicists*, (in Russian). Moscow: “Atomizdat”, 1979. **]**

2. **Фортов В. Е, Храпак А. Г., Якубов И. Т.** Физика неидеальной плазмы: учеб. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 528 с. **[** V. E. Fortov, A. G. Hrapak, I. T. Yakubov, *Physics of nonideal plasma,* (in Russian). Moscow: “FIZMATLIT”, 2004. **]**

3. **Альвен Г., Фельтхаммар К. Г.** Космическая электродинамика. М.: Издательство «Мир», 1967. **[** G. Al'ven, K. G. Fel'thammar, *Cosmic electrodynamics,* (in Russian). Moscow: “Izdatel'stvo “Mir,”, 1967. **]**

4. **Хаффнер Дж.** Ядерное излучение в космосе. М.: Атомиздат, 1971. 320 с. **[**Dzh. Haffner, *Nuclear radiation in space,* (in Russian). Moscow: “FIZMATLIT”, 1971. **]**

5. **Физика** космического пространства. Материалы теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в научно-исследовательском институте ядерной физики имени Д.В. Скобельцына.

6. **Ядерные** орбитальные комплексы / В. Д. Атамасов и др. СПб: ФГУП «КБ «Арсенал» им. М.В Фрунзе», 2016. 800 с. **[** V. D. Atamasov, et. al., *Nuclear Or-bital Complexes,* (in Russian). St. Petersburg: Federal state unitary enterprise “Artsenal design bureau” named after M.V. Frunze , 1971. **]**

7. **Солнечное** затмение по заказу // Техника-молодежи. 1978. № 5 . С. 21–23. **[** *“Solar eclipse by request”,* (in Russian), in Tekhnika-molodezhi, no. 5, pp. 21–23, 1978. **]**

8. **Бушуев К. Д.** «Союз» и «Аполлон», М., 1976. **[** K. D. Bushuev, *“Union” and “Apollo”,* (in Russian). Moscow, 1971. **]**

9. **Акишин А. И.** Работоспособность космического оборудования при воздействии собственной внешней атмосферы аппарата // Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцина. **[** A. I. Akishin, “The efficiency of space equipment under the influence of its own external atmosphere”, in *Nauchno-issledovatel'skij institut yadernoj fiziki im. D. V. Skobel'cina.*]

ОБ АВТОРАХ

АТАМАСОВ Владимир Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор, советник генерального директора АО «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В. Фрунзе».

КОЛБАСИН Иван Владимирович, соискатель. Дипл. Электроэнерге-тические системы (ВМИИ, 2010). Готовит дис. о влиянии СВА КА с ЯЭУ на конструкцию КА .

ДЕМЕНТЬЕВ Илья Игоревич, канд. техн. наук, специалист 1-й кат. АО «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М. В. Фрунзе».

УСТИНОВ Александр Николаевич, соискатель. Генеральный директор ОАО «Машиностроительный завод «Арсе-

нал». Готовит дис. о теории управления сложных технических систем.

METADATA

Title: The phenomenon of induced radioactivity for spacecraft on-board nuclear power plant through the medium of the outer self atmosphere.

Authors: V. D. Atamasov[1], I. V. Kolbasin[2], I. I. Dementiev[3], A. N. Ustinov[4]

Affiliation:

[1–3] JSC "Design Bureau "Arsenal" to them. M. V. Frunze».
[4] OJSC "Machine-building plant «Arsenal».

Email: [1]vldmatamasov@mail.ru, [2]kolbasin777ivan@mail.ru, [3]iidementev@mail.ru, [4]anustinov@ mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 22, no. 1 (79), pp. 44-50, 2018. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The article presents the basic concepts and characteristics of space plasma and describes its own external atmosphere of the spacecraft, recorded in the experiment in the conditions of artificial solar Eclipse under the pro-gram of joint flight of spacecraft "Apollon" - "Soyuz". Set forth the rationale for the first time discovered the phenomenon of transfer of solar radiation in the unlit part of the atmospheric environment. It is shown that the glow of the shadow region of the atmosphere is caused by the transfer of radiation through the gas-dust atmospheric plasma, similar to the phenomenon of induced radiation from an atomic explosion.

Key words: own external atmosphere; nuclear power plant; spacecraft.

About authors:

ATAMASOV, Vladimir Dmitrievich, doctor of engineering. Sciences, Professor, Advisor to the Director General of JSC "design Bureau "Arsenal". M. V. Frunze".

KOLBASIN, Ivan Vladimirovich, applicant. dipl. electric power systems (VMII, 2010). Dis. on the impact of SVA spacecraft with nuclear reactor design KA .

DEMENTIEV, Ilya Igorevich, candidate of technical Sciences, specialist of 1 category of JSC "Design Bureau "Arsenal" to them. M. V. Frunze".

USTINOV, Alexander Nikolaevich, applicant. General Director of OJSC "Machine-building plant "Arsenal". Dis. on the control theory of complex technical systems.