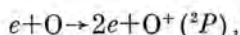


УДК 551.510.535.2

*П. Л. Израйлевич, А. К. Кузьмин***ИЗЛУЧЕНИЕ ИОНОВ $O^+ (^2P)$ В ТРАНСПОЛЯРНЫХ ДУГАХ**

В полярной шапке в период с сильным северным компонентом ММП 11.1.1983 г. обнаружены узкие локализованные области свечения ионизованного кислорода в линии 7320 Å. Эти области совпадают с положением трансполярной дуги, наблюдавшейся на спутнике DMSP F-6 в этот период.

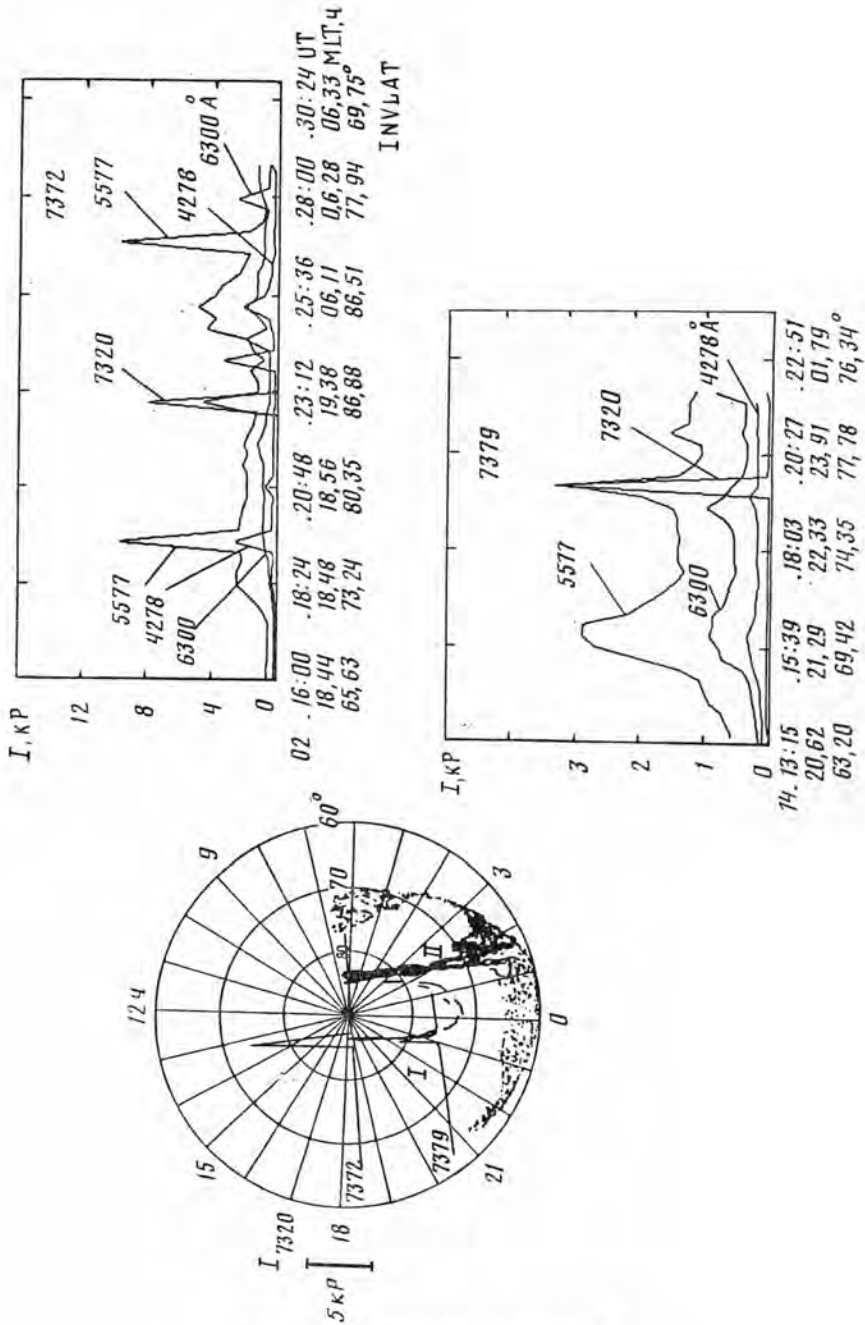
При ионизации кислорода электронным ударом ($E_e \approx 18,6$ эВ) часть вновь образовавшихся ионов оказывается в метастабильном состоянии $O^+ (^2P)$ с временем жизни около 4,6 с. Переходу в невозбужденное состояние $O^+ (^2P \rightarrow ^2D)$ соответствует дублет, излучаемый в спектральной области 7320–7330 Å:



Относительно немногочисленные наземные и спутниковые наблюдения свечения этого дублета в ночном небе и в полярных сияниях позволили определить эффективность возбуждения 2P -состояния, которая, как оказалось, составляет 18÷20% [1, 2]. По результатам этих измерений интенсивность аврорального свечения дублета 7320, 7330 Å составляет, как правило, лишь несколько процентов от интенсивности свечения 5577 Å [OI] [3] и в овале полярных сияний не превышает нескольких сотен Рэлей. Именно поэтому, как нам кажется, представляют интерес данные фотометрических измерений, выполненных на ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300», в которых обнаружены исключительно интенсивные, локализованные области свечения $O^+ (^2P)$ в полярной шапке 11.1.1983 г.

В этот период произошел поворот к северу межпланетного магнитного поля, которому сопутствовало возникновение трансполярных дуг в полярной шапке. Двумерные изображения свечения в северной полярной шапке в этот период были получены в широкой полосе видимого спектра на ИСЗ DMSP F-6 [4]. Эти фототелеизображения свидетельствуют о том, что вскоре после поворота ММП к северу в полярной шапке появилось множество тонких дуг, вытянутых вдоль линии Солнце — Земля. С течением времени эволюция распределения трансполярных дуг привела к конфигурации свечения, характерной для θ -авроры (см. рисунок, справа). В этот же период проводились измерения высыпаний электронов на спутниках DMSP F-6 и NOAA-6, 7 [5], а также электрического и магнитного полей и интенсивности свечения основных атмосферных эмиссий на ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300» [6].

На рисунке справа приведены результаты измерений профилей интенсивности свечения верхней атмосферы в линиях 6300 Å [OI], 5577 Å [OI], 4278 Å N_2^+ и 7320 Å [O II], полученные 11.1.1983 г. в авроральной зоне и в полярной шапке вдоль витков 7372 и 7379 спутника «Интеркосмос-Болгария-1300». Измерения на витке 7372 проводились в 02.16



Справа профили интенсивностей свечения, наблюдавшихся на витках 7372 и 7379 со спутника «Интеркосмос - Болгария-1300» 11.I.1983

Слева картина свечения в полярной шапке в координатах Λ_0 -MLT, полученная со спутника DMSP F-6 11.I.1983, на которую наложены профили интенсивности свечения в линии 7320 Å [OII], полученные со спутника ИК-Б-1300 в этот же период времени

÷02.28 UT. В это время на ИСЗ в полярной шапке наблюдалось не менее 15 дуг, вытянутых вдоль линии Солнце — Земля. ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300» вначале пересек диффузные и дискретные формы свечения в авроральном овале в 02.18÷02.20, а затем вошел в полярную шапку. Внутри полярной шапки наблюдалось по крайней мере 8 дуг. Примерно в 02.28 при выходе спутника из тени фотометр выключился. Наблюдавшееся свечение ионизованного кислорода было ниже обычного фонового уровня в вечернем авроральном овале и в полярной шапке, за исключением узкой области в 02.23. Здесь наблюдалось резкое возрастание интенсивности эмиссии 7320 Å до 9 кР. В этой же области наблюдалась и дуга в линии 5577 Å интенсивностью до 5 кР. Во всех остальных трансполярных дугах свечение 7320 Å оставалось на уровне обычных значений для полярной шапки.

Здесь уместно подчеркнуть, что каждая точка на профиле интенсивности — это сумма импульсов с ФЭУ, накопленная в течение 1,5 с измерений, причем текущая сумма регистрировалась с опросностью около 25 Гц, что позволяло контролировать возможность ошибки за счет случайных выбросов или помех.

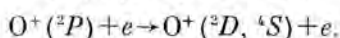
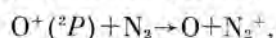
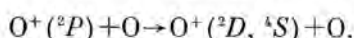
Спустя примерно час после пролета 7379 ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300» в северной полярной шапке на DMSP F-6 наблюдалась конфигурация θ-авроры, приведенная на рисунке слева. При этом в полярной шапке наблюдалось две дуги: узкая дуга I и более широкая и интенсивная дуга II. Фотометр на спутнике «Интеркосмос-Болгария-1300» выключился, когда спутник вышел из тени. Это произошло до того, как спутник пересек область дуги II. На витке 7379, как видно из рисунка, была зарегистрирована область свечения, соответствующая авроральному овалу, в 14.14÷14.18 UT и одна трансполярная дуга в 14.20. В этой трансполярной дуге наблюдалось заметное усиление свечения в линиях атомарного кислорода 5577 Å до 3,5 кР и 6300 Å до 1 кР. Имеется также и небольшой максимум в профиле интенсивности свечения в линии 4278 Å. И здесь, как и на витке 7372, в области трансполярной дуги резко возрастает свечение в линии 7320 Å до 3,5 кР. Вне этой локализованной области интенсивность свечения ионизованного кислорода как в полярной шапке, так и в овале полярных сияний находится на обычном уровне, характерном для этих широт.

Слева на рисунке на фоне двумерной картины свечения, полученной со спутника DMSP F-6 в 15.12÷15.26 вдоль витков 7372 и 7379 отложены профили интенсивности свечения в линии 7320 Å. Видно, что область локальных максимумов интенсивности свечения ионизованного кислорода совпадает с областью, которую впоследствии занимает дуга I. Таким образом, свечение O^+ имеет место не во всех трансполярных дугах, и поэтому можно предположить, что распределение интенсивности свечения, характерное для θ-авроры, сначала начинает проявляться в линии 7320 Å. Подтверждением этого предположения могли бы быть наблюдения свечения O^+ в дуге II, но, к сожалению, при пересечении области, соответствующей этой дуге, фотометр был уже выключен, так как спутник вышел из тени Земли. Если предположение о том, что конфигурация θ-авроры первоначально формируется в линии 7320 Å, справедливо, то оно означало бы, что события в монофере, обеспечивающие эффективность возбуждения состояния $O^+(^2P)$ предшествуют уменьшению структурированности высыпания электронов в полярной шапке.

К сожалению, возможность исследования причин, вызывающих наблюдавшееся интенсивное свечение, ограничена из-за отсутствия в этих сеансах измерений на ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300» данных о потоках высыпавшихся электронов. Тем не менее с достаточной степенью уверенности можно утверждать, что узкие области максимумов свечения линии 7320 Å связаны с узкими областями повышенной концентрации O^+ . В самом деле, на увеличении относительной концентрации O^+ указывает

тот факт, что интенсивности свечения линий 5577 Å [O I] и 7320 Å [O II] оказываются примерно одинаковыми. Величины интенсивности свечения 7320 Å [O II] на уровне обычного фона в других трансполярных дугах, зарегистрированных на витке 7372, означают, что область повышенной концентрации O⁺ локализована достаточно узко. Подобные области с увеличенным относительным содержанием ионов O⁺ в трансполярных дугах действительно наблюдались [7].

Наиболее невероятным и странным представляется тот факт, что свечение O⁺ в трансполярной дуге на порядок величины интенсивнее свечений O⁺, наблюдавшихся в авроральном овале. Возможно, это связано с тем, что в полярной шапке менее эффективны реакции, приводящие к снятию возбуждения:



По наземным фотометрическим наблюдениям известны факты усиления эмиссии 7320 Å [O II] на экваториальном краю каспа [8], которые, как предположили авторы, объясняются энергизацией частиц переходной области путем взаимодействия типа волна — частица на магнитопаузе [9], но эти усиления не превышали двух-трех значений интенсивности, обычно наблюдаемых в полярной шапке.

Увеличение концентрации O⁺, приводящее к возрастанию интенсивности свечения в линии 7320 Å, может быть связано и с конвекцией в полярной шапке. Такая возможность объяснить наблюдавшиеся свечения представляется особенно заманчивой, так как одновременно увеличивалась бы и концентрация плазмы в магнитосфере в области, связанной с трансполярной дугой. Нельзя также исключить возможность того, что возбуждение состояния ²P происходит при ускорении ионов O⁺ вверх, наблюдавшемся в областях, связанных с этим ускорением. Однако имеющихся данных явно недостаточно для анализа возможных механизмов возбуждения состояния O⁺(²P), и мы вынуждены в этой работе ограничиться только констатацией факта обнаружения интенсивного локализованного свечения в линии 7320 Å, связанного с трансполярной дугой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dalgarno A., Lejeune G. The absorption of electrons in atomic oxygen // Planet. Space Sci. 1971. V. 19. P. 1653.
2. Rees M. H., Abreu V. I., Hays P. B. The production efficiency of O⁺(²p) ions by auroral electron impact ionization // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. P. 3612.
3. Vallance Jones A. Aurora. Hingham. Mass.: D. Reidel, 1974.
4. Akasofu S. I., Tsurutani B. Unusual auroral features observed on January 10–11, 1983 and their possible relationships to the interplanetary magnetic field // Geophys. Res. Lett. 1984. V. 11. P. 1086.
5. Gorney D. J., Evans D. S., Gussenhoven M. S., Mizera P. F. A multiple-satellite observation of the high-latitude auroral activity on January 11, 1983 // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. P. 339.
6. Israelevich P. L., Podgorny I. M., Kuzmin A. K. et al. Convection and field-aligned currents, related to transpolar arcs, during strongly northward IMF (January 11, 1983): Preprint IKI, Pr-1315. M. 1987.
7. Petersen W. K., Shelley E. G. Origin of the plasma in a cross-polar cap auroral feature // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 6729.
8. Sivjee G. G., Romick G. I., Deehr C. S. Optical signatures of some magnetospheric processes on the dayside // Geophys. Res. Lett. 1982. V. 9. P. 676.
9. Tsurutani B. T., Smith E. J., Thorne R. M. et al. Wave particle interactions at the magnetopause: contribution to the dayside aurora // Geophys. Res. Lett. 1981. V. 8. P. 183.

Поступила в редакцию
22.XII.1987