

S E N S ' 2 0 0 6

Second Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛУЧЕННЫЕ УФ-СПЕКТРОМЕТРОМ УФСИПС - ПРОЕКТ ИНТЕРБОЛ

**Куньо Палазов¹, Ангел Манев¹, Стефан Спасов, Александър Бочев¹,
Живко Жеков², Гаро Мардиросиян², Александър Кузмин³, Виктория Прохоренко³,
Натан Есмонт³, К.Чиков⁴, А.Сандуков⁴**

¹*Центральная Лаборатория Солнечно-Земных Связей, БАН, София, Болгария
e-mail: kpalazov@stil-sz.org*

²*Институт космических исследований - БАН, София, Болгария*

³*Институт космических исследований - РАН, Москва, Россия*

⁴*Институт точной механики и оптики, Санкт Петербург, Россия*

Ключевые слова: *спектрометр, авроральный овал, подножная точка*

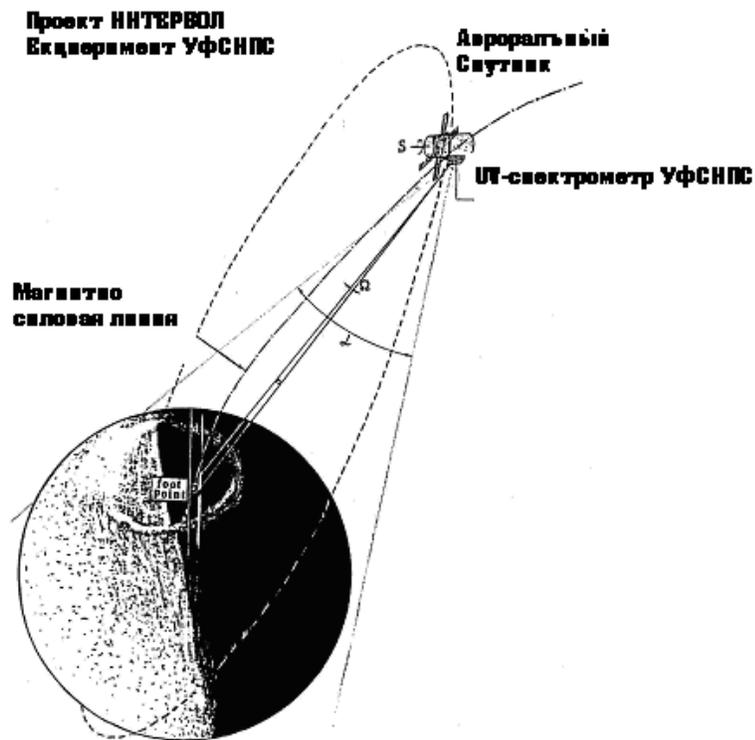
Абстракт. *Оптический эксперимент УФСИПС (Ультрафиолетовая Система для Исследования Полярных Сияний), реализован с UV Спектрометром УФСИПС на спутнике Авроральный Зонд в проекте Интербол. В УФ-спектрометре УФСИПС Угол поля зрения прибора составляет 0,3° а диаметр мгновенной области свечения, охватываемой с высоты апогея спутника, составляет примерно 100 км. Мы показываем результаты профили интенсивности кислородных эмиссий 1304А° и 1356 А° , и магнитограма магнитометра ИМАП-3. Результаты коррелированные с бортовыми и наземными экспериментами.*

Одни из основных целей и задач международного космического проекта Интербол исследовать солнечно-земных взаимодействий в полярной области и более специально в зоне Аврорального овала [1]. У нас оптический эксперимент УФСИПС (Ультрафиолетовая Система для Исследования Полярных Сияний) реализован с UV-спектрометром УФСИПС на спутнике Авроральный Зонд в проекте Интербол. Прибор УФСИПС предназначен для измерений широтных профилей интенсивности эмиссий верхней полярной атмосферы, проходящих через окрестность подножной точки силовой линии магнитного поля, на которой в момент измерений находится спутник.

Спектрометр УФСИПС был разработан и изготовлен в Стара-Загорском филиале Института Космических Исследований Болгарской Академии Наук (сейчас филиал Центральной Лаборатории Солнечно-Земных Связей, БАН), в Санкт-Петербургском Институте Точной Механики и Оптике и в ИКИ, РАН. Совместно была подготовлена методика проведения эксперимента и проведены тестовые испытания прибора, было осуществлено управление экспериментом в полете и экспресс-обработку данных измерений. Измеряя распределения интенсивностей эмиссий в ультрафиолетовой

области спектра можно получать значения характеристической энергии высыпавшихся электронов и их потока энергии [2]. Основным преимуществом дистанционного метода является возможность измерений распределений интенсивности выбранных эмиссий одновременно на большой площади, определяемой полем изображения и высотой спутника. В УФ-спектрометре УФСНПС угол поля зрения составляет доли градуса, а реальная ширина спектральной полосы не превышает 32 \AA , что позволяет увеличить точность селекции измеряемых эмиссионных линий. Измерения распределений интенсивностей эмиссий в области вакуумного ультрафиолета имеет особое преимущество - наблюдение полярных сияний с космического аппарата на освещенной стороне Земли. Контраст авроральной интенсивности излучаемых эмиссий на фоне дневного излучения верхней атмосферы варьирует для разных линий и, как правило, не превышает двойную величину [3]. В первый спектральный интервал прибора УФСНПС (канал 1), центрированный на длину волны 1304 \AA , попадает триплет ($1302-04-06 \text{ \AA}$). В канал попадает излучение спиново-запрещенного дублета атомарного кислорода с длиной волны ($1356-9 \text{ \AA}$), возбуждаемого в полярных сияниях. В третий спектральный интервал (1493 \AA) измеряется излучение атомарного азота.

Прибор УФСНПС построен по классической схеме бесщелевого спектрографа с плоской дифракционной решеткой. Излучение от наблюдаемой в конкретный момент времени области свечения (Фиг.1.), размер которой определяется углом поля зрения $0,3^\circ$ и высотой спутника, направляется плоским зеркалом в прибор.



Фиг.1. Управление экспериментом в полёте

Диаметр мгновенной области свечения, охватываемой пространственным углом поля зрения с высоты апогея спутника, составляет примерно 100 км. При минимальном времени экспозиции (0,15 с) за счет “смаза” изображения этот размер увеличивается до 160 км.

Оптическая схема прибора показана в [4].

Измерения при пересечении полем зрения области свечения (скан) осуществляются по мере вращения спутника вокруг спиновой оси в плоскости, перпендикулярной направлению на Солнце. Для наведения на выбранную область аврорального овала в оптической схеме УФ-спектрометра УФСИПС его входное плоское зеркало перемещается от среднего положения на угол $\pm 11^\circ$ мелкими шагами (102 позиции). При таком угловом диапазоне спектрометру обеспечена возможность пересекать своим полем зрения выбранную область аврорального овала в периоды, когда плоскость орбиты своей апогейной частью отклонена от направления на Солнце и при условии номинальной ориентации строительной оси X спутника на Солнце, позволяя при этом спектрометру пересекать своим полем зрения выбранную область свечения, наблюдаемую в диапазоне углов от 38° до 82° , составляемых с осью X в плоскости Солнце-спутник-Земля.

За несколько секунд поле зрения спектрометра может пересекать авроральный овал по его диаметру или по хорде в зависимости от направления наблюдения и геомагнитных условий.

Режим измерений спектрометра синхронизируется от импульса, поступающего от канадского имаджера UVAI в момент времени, когда его специальный датчик пересекает горизонт Земли. В связи с тем, что оси полей зрения прибора УФСИПС и прибора UVAI составляют фиксированный азимутальный угол, для задания момента начала измерений в УФСИПС'e устанавливается задержка (в зависимости от высоты спутника) с помощью управляющих кодовых слов. После получения синхроимпульса от прибора UVAI и отсчета времени задержки спектрометр УФСИПС делал 36 измерений с заданным временем экспозиции и после этого полученную информацию передавал в систему сбора научной информации (ССНИ) спутника.

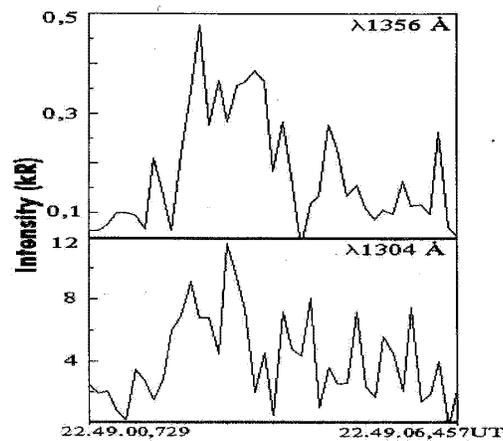
Во другом режиме работы спектрометра проводились квазинепрерывные измерения без внешней синхронизации. В этом режиме прибор делал 288 измерений с заданным временем экспозиции и после этого полученную информацию передавал в спутниковой телеметрии ССНИ за время, которое зависит от режима опроса источников цифровых массивов, к которым подключены информационные выходы прибора. После этого прибор делал следующие 288 измерений и т.д. до тех пор пока не поступала команда об изменении режима. Управление процессом измерений осуществлялось по заранее подготовленным программам, занесенным в память бортового блока управления экспериментами (ПВС).

Результаты

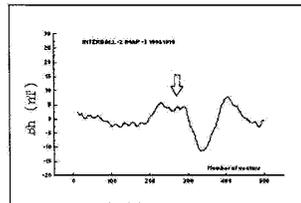
Со второй декады октября 1996 г. проводились наблюдения (проводилась 1-2 серии сканов).

На Фиг.2. показаны профили интенсивности кислородных эмиссий (1304 \AA (нижняя панель) и 1356 \AA (верхняя панель), полученные во время одного из сканов 19 октября 1996 г. на орбите 216 во время суббури в возмущенных геомагнитных условиях. Судя по максимумам величин интенсивностей на профилях в 22.49.01-22.49.06 UT наблюдались довольно яркие авроральные формы, соответствующие полярным

сияниям II-III балла. Внизу показана тоже магнитограмма магнитометра ИМАП-3, работающий тоже на борту Аврорального зонда вместе с УФСИПС. Видна связь между магнитными смещениями и интенсивностями эмиссий.



INTERBALL-2 ИМАП-3 19.10.1996



Vector No	0	100	200	300	400	500
UT	22:35:00	22:40:00	22:44:59	22:49:59	22:54:59	23:00:00

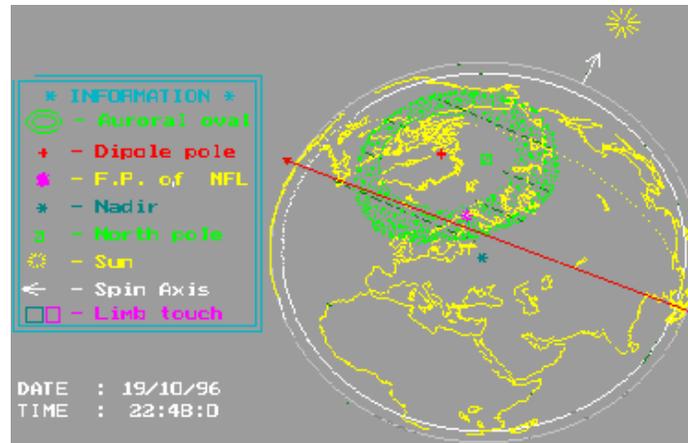
Фиг.2. Интенсивность кислородных линий 1304 А УФСИПС и магнитограмма магнитометра ИМАП-3 при одновременном исследовании магнитной суббури 19 октября 1996 г. на орбите 216.

На Фиг.3. показан вид на северную земную полусферу с высоты спутника в момент измерений. Положение дипольного полюса, северного географического полюса, точки пересечения вектора, направленного на центр Земли, с поверхностью, положение подножной точки магнитной силовой линии, на которой в данный момент находится спутник, показаны соответствующими знаками (смотри табличку). Условно на этом же рисунке показано расположение аврорального овала для возмущенных геомагнитных условий при планетарном индексе $K_p=5+$ (для трехчасового интервала с 21 часа до 24 часов 19 октября 1996 г.) Положение линии терминатора показывает, что большая часть аврорального овала была расположена в тени, хотя для высоты максимума интенсивности излучения УФ кислородных эмиссий граница света и тени проходила немного ближе к полюсу.

Как видно из рис.3 поле зрения спектрометра пересекло авроральный овал по хорде так, что сечение прошло через ранний утренний сектор, затем вдоль полярного края полуночного аврорального овала, а затем через вечерний сектор. Подножная точка магнитной силовой линии оказалась в более утренней части овала относительно скана. Ее расчетные координаты в момент времени 22.49.03 UT для высоты 150 км были: географическая широта $74,3^\circ$, (географическая долгота $32,7^\circ$), геомагнитное местное

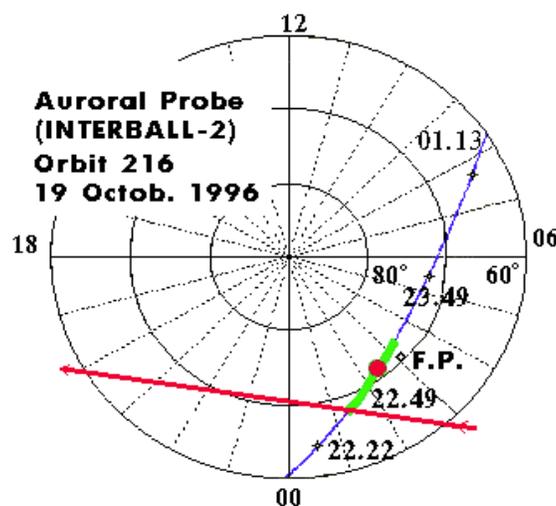
время MLT=3,04h, высота тени Hshade=647 км. Утренняя часть спектрометрического сечения овала прошла над Скандинавским полуостровом.

Магнитограмма, полученная в Кируне (Lat=67,8(, Long=20,4()), которая демонстрирует геомагнитные условия в период измерений показывает что измерения проводились в конце максимальной фазы суббури - начале фазы восстановления.



Фиг. 3. Северная полусфера во время проведения измерений и 1356 $^{\circ}$ измеренными спектрометром

На Фиг. 4. можно видеть проекцию орбиты спутника в координатах инвариантная широта-геомагнитное местное время (MLT). Время близкое к моменту спектрофотометрических измерений (22:49:00 UT) показано жирной точкой. В 22:49:03 спутник находился в точке с координатами: инвариантная широта 71 $^{\circ}$, (и MLT = 02:31 h). Здесь же показана проекция оси поля зрения спектрометра на высоту максимума излучения кислородных УФ эмиссий (1304 \AA и 1356 \AA) 150 км. Жирной линией выделен участок проекции орбиты, на котором проводились измерения распределений потоков частиц во время близкое к спектрофотометрическим измерениям.



Фиг. 4. Координаты во время измерений

Из описания измерений и представленных примерных результатов видно успешное функционирование нашего прибора и правильность методики эксперимента УФСИПС. Было проведено большое количество измерений и получены интересные результаты. Из них видно, что вклады были сделаны нашим UV спектрометром УФСИПС в достижение основных целей проекта Интербол, особенно при исследовании некоторых причинно-следственных связей в северной полярной зоне (в полярном овале и в полярной шапке). Результаты доказывают корреспонденцию между профилем эмиссии (авроры событий), рассеивающей энергией частиц (энергичные спектрограммы) и магнитными возмущениями, подтверждающие расположение аврорального овала (поля зрения спектрометра UVSIPS в подножных точках магнитных силовых линиях геомагнитного поля были видны над Fort Simpson (lat = 61.8°, long = 238.8°, координаты I/LAT 74.3° широта, 32.7° долгота, MLT = 3.04 h в 22:49:03 UT для H_{arc} = 150 km, H_{shade} = 647 km.), Kiruna (lat = 67.8°, long = 20.4°). Измеренный профиль эмиссии для H_{arc} = 150 km с шириной 3 s., измеренные дуги приблизительно длиной 2000 km и по крайней мере 150 km шириной подтверждает соответствующие теории о форме типа обратного V области высипания энергетических частиц в зоне продольного электрического поля авроральной области. Интенсивности эмиссий, достигающие более, чем 10 KR (I1304a), отношение I1304 A / I1356A = 10-30 было измерено что подтверждает теоретические модели.

Наши частичные результаты показывают необходимость приступить к следующему этапу полной обработки данных из всех экспериментов проекта Интербол, и их корреляции чтобы получить хорошую оценку исследованных явлений, чтобы достигнуть основных целей проекта и, чтобы улучшить и разработать современные научные магнитосферные модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. The INTERBALL Project to study solar-terrestrial physics, A. A. Galeev, Yu. I. Galperin and L. M. Zelenyi, Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya str., 84/31, Moscow 117810, Russia.
2. Space borne optical remote sensing of midday auroral oval and different participation regions, Hing-I. Meng, Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University, Laurel, Maryland 20723, USA, Submitted to: Kluwer Academic Publishers for publication in Physical Signatures of Magnetospheric Boundary Layer Processes, NATO ASI Series, September, 1993
3. Meier R.R., Ultraviolet spectroscopy and remote sensing of the Upper atmosphere, Space Sci.Rev., v.58, N-1/2, pp. 1-185, 1991.
4. Kuzmin A.K., Fomicheva T.V., Kondabarov A.V., Chikov K.N., Dubkovskiy S.A., Good V.V., Krasavtsev V.M., Losev K.D., Sandakov A.N., Nedkov I., Palazov K., Petkov N., Spasov S., Verner R., Ivanov V.E., Sergienko T.I. UV-spectrometer in INTERBALL Project to map ionospheric characteristics in the magnetic field line footprint from the satellite Auroral Probe, in book Interball Mission and Payload, pp. 401-407, CNES-IKI-RSA, May 1995.