

(1)

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пр - 290

К.И.Грингауз

КОМПЛЕКС СПУТНИКОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

1976

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одна из основных проблем физики околоземного пространства — природа магнитосферных суббурь, проявляющихся в магнитных и ионосферных возмущениях, нарушениях радиосвязи, возникновении полярных сияний и электромагнитных излучений в различных диапазонах частот и т.д.

Указанные явления по отдельности изучались в течение последнего десятилетия как в СССР, так и в США при помощи ряда спутников: в СССР — спутниками серии "Космос" (261, 348, 378) и на некоторых спутниках по программам исследований, совместных с социалистическими странами и Францией, в США — на спутниках серии "Инджен", "СГО", "Айсис", "Эксплорер". Однако, при помощи одного спутника принципиально невозможно разделить пространственные и временные вариации изучаемых явлений, а сравнительно малые допустимые веса научных приборов на применявшихся спутниках не позволили достаточно полно изучать одновременно даже на одном спутнике комплекс взаимно-связанных явлений. Кроме того, до настоящего времени ни на одном из спутников (советских, американских или западно-европейских) не проводилось изучение потоков авроральных частиц и полей с одновременным изучением изображений полярных сияний, полученных на том же спутнике.

Для того, чтобы проводить комплексные исследования указанных явлений, позволяющие получить наиболее полные сведения о происходящих в высокоширотных областях процессах, необходим целый комплекс спутниковых экспериментов.

Особенностью этого комплекса должна быть возможность

проведения одновременных измерений на двух различно расположенных, но имеющих идентичные научные приборы, спутниках (высокоширотные орбиты которых одновременно пройдут вдоль особо важных меридианов - в направлении полдень - полночь и утро - вечер) - см. рис. I, и весьма полный набор экспериментов на каждом из спутников (для чего требуется, соответственно, большой вес научной аппаратуры), включая регистрацию полярных сияний не только в ночном, но и в дневном секторах (при помощи фотометров, в том числе работающих в различных диапазонах длин волн), и получение изображений полярных сияний в видимом спектре при помощи сканирующих фотометров.

Исследования по достаточно полным программам, позволяющим детально проследить причинно-следственные связи во время суббури, до настоящего времени не проводились и, насколько известно, пока не планируются ни в США, ни Европейским Космическим Агенством (ESA).

Такая программа в основном может быть составлена на основе методов и аппаратуры, уже применяющихся в ~~практических~~ исследованиях околоземного пространства по линии "Интеркосмос" с учетом, разумеется, полученных результатов и новых достижений электроники.

П. НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ

В настоящее время установлено, что большинство геофизических явлений, развивающихся в ионосфере на высоких ($> 60^\circ$) геомагнитных широтах, тесно связано с проникновением в верхнюю атмосферу заряженных частиц солнечной плазмы из переходной области за фронтом околоземной ударной волны на дневной стороне и заряженных частиц из хвоста магнитосферы на ночной стороне. Магнитосфера и ионосфера связаны друг с другом геомагнитными силовыми линиями. Удаленные области магнитосферы воздействуют

на явления в ионосфере как посредством высыпающихся энергичных заряженных частиц, так и постоянными и переменными электрическими и магнитными полями, волновыми процессами и т.д., причем нижние слои ионосферы ($h < 400$ км) являются естественным экраном, отображающим (не только в видимой части спектра электромагнитных волн, но и в его ультрафиолетовой части) структуру магнитосферы и происходящие в ней процессы. Накопление изменений плазмы и магнитного поля в отдельных областях магнитосферы, связанных с воздействием межпланетной среды, вызывает магнитосферные суббури. Крупномасштабные движения плазмы в магнитосфере приводят к разделению зарядов и к появлению электрических полей и соответствующих токов вдоль силовых линий, замыкающихся через ионосферу (на высотах $\sim 100-150$ км). В свою очередь, эти токи приводят к перераспределению электрических полей, влияющему на движение плазмы.

Основной целью комплекса спутниковых экспериментов должно быть выявлено причинно-следственных связей явлений в процессе магнитосферной суббури. Для этого необходимы комплексные исследования высыпаний заряженных частиц с высоким временным, пространственным и энергетическим разрешением и одновременные измерения характеристик холодной ионосферной плазмы, существенно возмущаемой высыпающимися частицами, наблюдения эффектов, проявляющихся при взаимодействии высыпающихся частиц с ионосферной плазмой и нейтральной атмосферой — свечений в разных диапазонах частот, волновых процессов, а также измерения квазистационарных и быстро меняющихся во времени электрических полей.

Такой набор экспериментов может давать ценную научную информацию на всех широтах. Целесообразно применять на спутниках программные устройства, дающие возможность разделения научной программы спутника на несколько подпрограмм (по командам с

Земли), каждая из которых соответствует наиболее полному решению одной или двух научных задач.

К наиболее важным научным задачам относятся следующие:

- А. Исследования явлений в субавроральной зоне
(физика образования стабильных красных дуг,
ионосферная впадина, "горячая" зона в плазмосфере)

В субавроральной зоне верхней атмосферы и магнитосферы (на геомагнитных широтах $50-60^{\circ}$) наблюдаются явления, еще не имеющие однозначного объяснения. Именно в этой зоне часто возникают так называемые "стабильные красные дуги" — области высокой интенсивности красного свечения, создаваемого излучением линии 6300 \AA атмосферного кислорода (рис. 2). Наиболее вероятной возможной причиной этих красных дуг считают повышение электронной температуры (которое может вызываться либо увеличением электрических полей и создаваемыми ими токами, либо передачей тепла от источников, расположенных выше, либо выпадениями энергичных частиц, либо поглощением волн, возникающих в плазме при определенных условиях). Каждое из этих объяснений имеет некоторое обоснование.

Повышения электронной температуры в этой зоне регистрируются достаточно часто, однако, причина их недостаточно ясна. Одной из таких причин (а, может быть, одним из следствий) является резкое уменьшение концентрации ионосферной плазмы в указанной области — так называемая "среднеширотная ионосферная впадина".

На больших высотах ($h > 2000 \text{ км}$), по-видимому, вдоль тех же геомагнитных силовых линий, расположена "горячая зона плазмосферы" — зона, где температура ионов очень высока, обнаруженная на советских спутниках "Прогноз".

Для того, чтобы разобраться в указанных явлениях в субавроральной зоне, очевидно необходимы приборы, которые могут измерять

следующие величины:

- а) интенсивность красного свечения $\lambda = 6300 \text{ \AA}$,
- б) температуру и концентрацию ионосферных электронов,
- в) температуру, концентрацию, массу ионосферных ионов и состав нейтральных частиц,
- г) потоки и энергетические спектры энергичных частиц, (в частности, от энергий ~ 10 эв до ~ 100 кэв),
- д) квазистатическое электрическое поле,
- е) характеристики колебаний плазмы,
- з) характеристики НЧ - электромагнитных колебаний.

Совокупность таких одновременно проводимых измерений несомненно позволит выяснить истинную причину образования стабильных красных дуг и понять физические процессы, управляющие явлениями в субавроральной зоне.

Б. Исследования физических явлений в зонах полярных сияний

Эти зоны расположены на дневной стороне верхней атмосферы вблизи геомагнитных широт $\sim 77^\circ$, а на ночной стороне $\sim 70^\circ$ и проектируются на Землю в виде некоторого подобия овала. При этом морфология распределений полярных сияний в дневном секторе и их связь с высыпаниями частиц, в частности, относительное увеличение интенсивности свечения в линии $Ly-\alpha$ в результате возбуждения атмосферного водорода быстрыми протонами изучена чрезвычайно слабо. Как показали последние исследования, полярные сияния существуют практически всегда, однако, во время магнитосферных суббурь интенсивность полярных сияний возрастает, а ширина зоны существенно увеличивается. Увеличение интенсивности видимых полярных сияний является лишь ^{одним} из проявлений магнитосферных суббурь, которые сопровождаются одновременными значительными возрастаниями потоков энергичных частиц, рентгеновского излу-

чения, ОНЧ-излучения и изменениями характеристик ионосферной плазмы. Ни детали механизма, формирующего потоки авроральных частиц, вызывающих полярные сияния, ни зоны их формирования (особенно в дневном секторе) еще недостаточно известны и для их изучения требуются одновременные идентичные измерения в широком диапазоне энергий частиц, разнесенные в пространстве. Эти условия будут выполнены при одновременном использовании двух спутников, запущенных на орбиты, плоскости которых перпендикулярны друг другу.

Необходимо, чтобы измерялись следующие физические характеристики:

- а) интенсивность и спектральные распределения потоков частиц и углы, образуемые скоростями этих частиц с вектором магнитного поля - питч-углы;
- б) интенсивность потоков частиц захваченной радиации (эти измерения, в частности, позволят определить границы области дневных (полярных) каспов, являющихся, по-видимому, источниками авроральных частиц, создающих дневные полярные сияния);
- в) концентрация и температура электронов ионосферной плазмы;
- г) концентрация, температура и массовый состав ионов;
- д) колебания плазмы;
- е) состав нейтральной атмосферы;
- з) квазистационарные электрические поля;
- з) ОНЧ-излучения;
- и) интенсивность оптических эмиссий, в частности, в линиях 1216 \AA , $1302 \text{ \AA} - 1305 \text{ \AA} - 1306 \text{ \AA}$, 1356 \AA , 3914 \AA , 4861 \AA , 6300 \AA , 5577 \AA ;
- к) размеры и распределение интенсивности свечения полярных сияний (посредством телевизионной регистрации видимой части спектра и в отдельных спектральных диапазонах).

Для измерения энергетических иpitch-угловых распределений авроральных электронов и протонов в диапазоне $0,1 \div 20$ кэв желательно, чтобы на спутниках были установлены электростатические pitch-угловые анализаторы с микроканальными электронными умножителями и электрическим сканированием угловых характеристик.

В. Изучение движений и неустойчивостей ионосферной плазмы, неоднородностей и волн в ионосфере

Ионосферная плазма не находится в состоянии термодинамического равновесия (температуры электронов и ионов, как правило, существенно различны друг от друга); она пронизывается потоками энергичных заряженных частиц, локально нагревается солнечным ультрафиолетовым излучением, электрическими токами и т.д.; при крупномасштабных движениях плазмы создается анизотропия электронной температуры и т.д. Вследствие этих процессов в плазме развиваются различные виды неустойчивостей, возникают колебания и неоднородности.

Преимущественные зоны возникновения этих явлений расположены не только в полярных районах ионосферы, но и в экваториальных (где проходит экваториальная электроструя).

Неоднородности концентрации связаны с волновыми процессами и могут генерироваться различными механизмами, например, градиентно-дрейфовой неустойчивостью, двухпоточковыми неустойчивостями, например, при движении электронов через фон нейтрального газа и ионов (экваториальная и авроральные электроструи, высыпания частиц в полярных районах), турбулентность и т.д.

В полярных районах на авроральных широтах между ионосферой и магнитосферой текут интенсивные продольные токи, которые в некоторых условиях могут быть неустойчивыми, что приводит к большим перепадам потенциала вдоль магнитных силовых линий и сильно влияет на процессы в ионосфере и магнитосфере.

Имеются в настоящее время экспериментальных данных недостаточно для установления причин и механизмов возникновения этих явлений. Например, ракетные измерения неоднородностей электронной концентрации, проводившиеся в экваториальной области, не совпадали с одновременными измерениями электрических полей, хотя для возникновения этих неоднородностей, как градиентно-дрейфовая, необходимо выполнение определенных соотношений между градиентом концентрации и электрическим полем.

Состав научных приборов, необходимых для решения задач А и Б, дополненный указанными ниже приборами, представляет собой наиболее полный из применявшихся ранее или планируемых в настоящее время наборов, который может обеспечить измерения большинства физических характеристик, необходимых для изучения рассматриваемой проблемы, в том числе: концентрации и температуры электронов, массового состава ионов, скорости дрейфов в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, а, следовательно, оценки электрических полей, связанных с этими движениями (наряду с прямыми измерениями квазистационарных электрических полей).

Для определения частот колебаний ионосферной плазмы требуется установить специальный прибор типа анализатора ионов (ионной ловушки), содержащий систему полосовых частотных фильтров в коллекторной цепи, а для измерений перемещений ионосферной плазмы (дрейфов) — блок из пяти, различным образом ориентированных, плоских ионных ловушек с соответствующим блоком электроники.

Для реализации комплекса спутниковых экспериментов, предназначенного для решения вышеуказанных задач, необходимы спутники с приполярной орбитой, ориентированные по вектору скорости. Оптимальная орбита — приблизительно круговая с высотой 500÷600 км.

Выше отмечалось, что предлагаемый комплекс приборов позволяет получить ценную информацию не только по отмеченным задачам А, Б и В.

В частности, он даст возможность продолжить и углубить дальнейшее изучение явлений в экваториальной ионосфере (включая взаимосвязь аномалий в широтных распределениях концентрации и температуры заряженных частиц в этой области), начатое на спутниках Интеркосмос - 2, 8, 12, 14.



Рис. I. Взаимное расположение орбит спутников для разрешения временных и крупномасштабных пространственных изменений изучаемых физических параметров

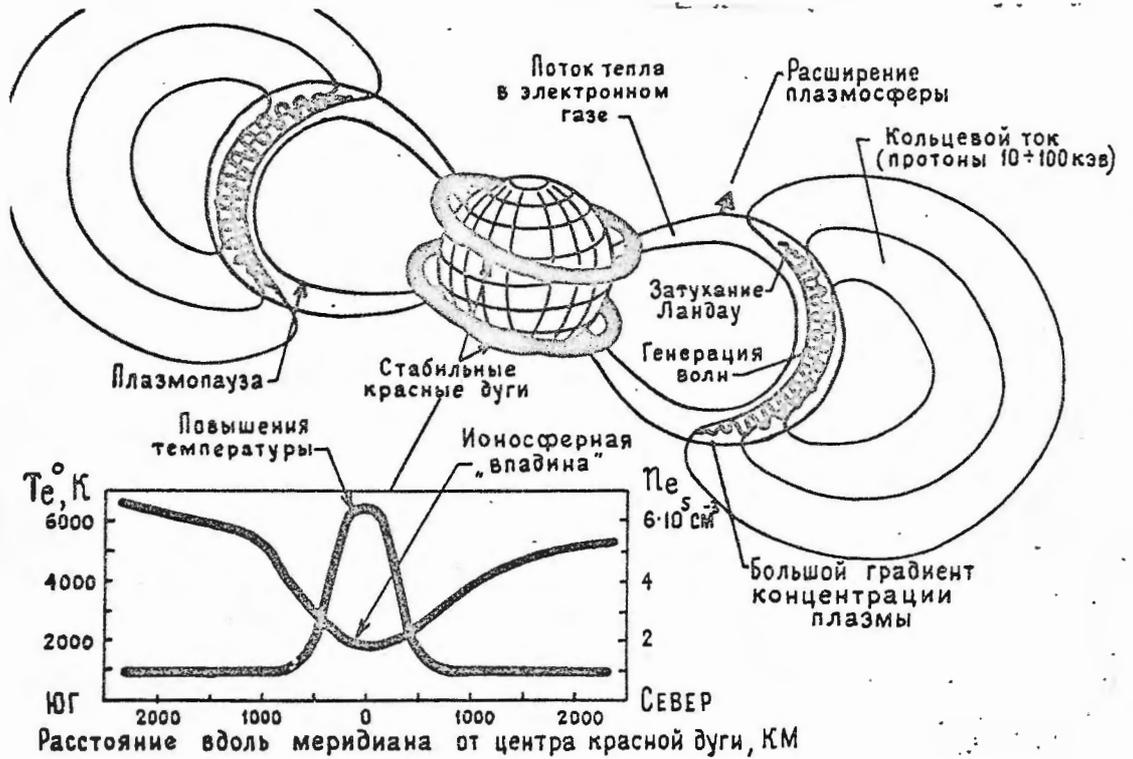


Рис.2. Схема процессов ионосферно-магнитосферных взаимодействий в субавроральной области (в основу положен рисунок из работы Риса и Робла *Reviews of Geophysics and Space Physics*, v.13,1,201,1975).



055(02)2

Отпечатано в ИКИ АН СССР

Т - II459

Подписано к печати 22.06.76

Заказ 707

Тираж 80

Объем 0,6 уч.-изд.л.