

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11.

НАБЛЮДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА НИЗКОВЫСОТНЫХ ПОЛЯРНЫХ СПУТНИКАХ

С. Н. Кузнецов, Л. Л. Лазутин, И. Н. Мягкова
(irina@srd.sinp.msu.ru)

Цель данной задачи – изучение методики исследования временных и пространственных вариаций потоков электронов и протонов радиационных поясов (РП) по данным низковысотных ИСЗ. В задаче используются данные ИСЗ «*Университетский-Татьяна*», полученные на высоте $H \sim 1000$ км, «*КОРОНАС-И*» ($H \sim 400$ км) и «*КОРОНАС-Ф*» ($H \sim 300 \div 500$ км). Все эти ИСЗ имеют полярную орбиту с наклоном около 83° . Для выполнения задачи необходимы навыки работы в Интернете с данными космофизических экспериментов, а также умение работать с графическим редактором. Данная задача может быть рекомендована студентам физических факультетов университетов и других ВУЗов (в рамках общего ядерного практикума).

Радиационные пояса Земли

На рис. 1 показана структура магнитосферы Земли (см. также описание магнитосферы в разделе 1.1). На этом рисунке выделены область радиационных поясов и зона неустойчивого захвата частиц (квазизахвата), изучаемые в данной работе.

Магнитосферу принято делить на внутреннюю, где определяющим является влияние магнитного поля земного диполя, и внешнюю, где магнитное поле задаётся преимущественно внешними источниками (токами, текущими во внешних областях магнитосферы и на ее границе). Радиационные пояса относятся к внутренней магнитосфере.

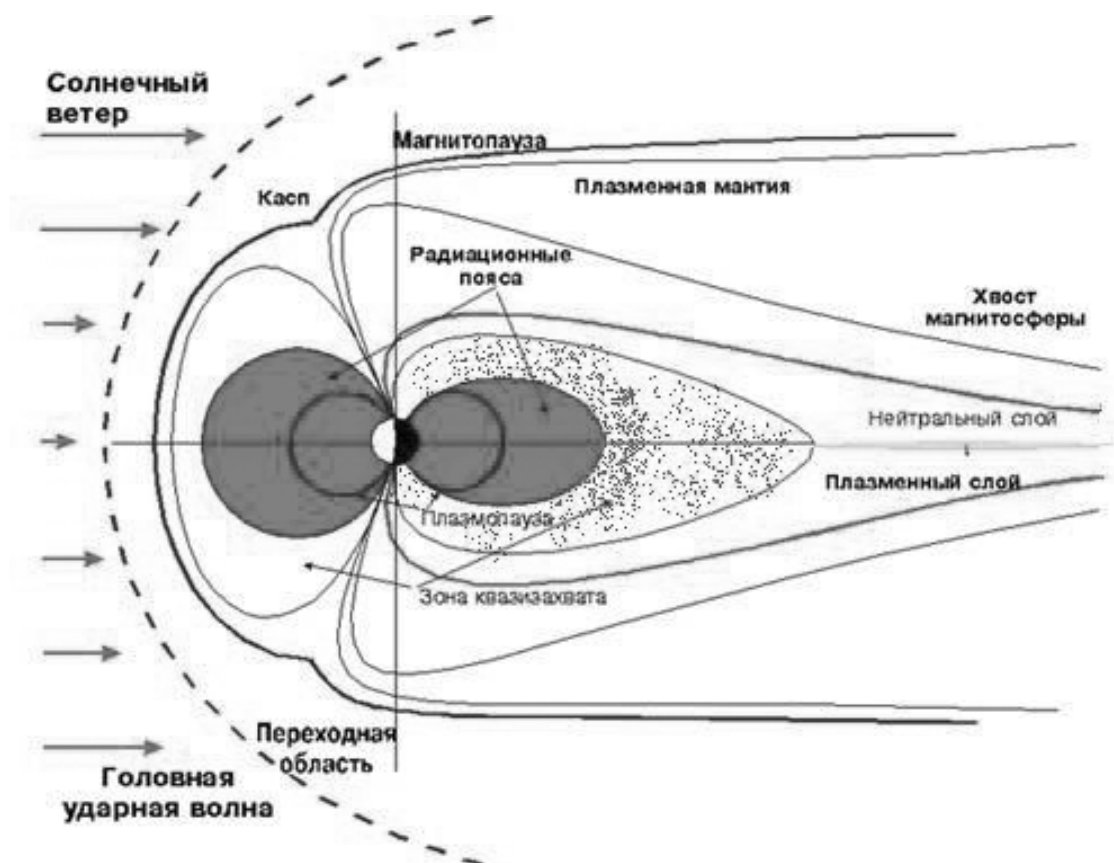


Рис. 1. Структура магнитосферы Земли

Движение захваченных или квази-захваченных частиц можно разделить на три квази-независимые периодические составляющие – ларморовское вращение частицы вокруг магнитной силовой линии, колебания ее ведущего центра вдоль силовой линии между зеркальными точками и магнитный дрейф вокруг Земли. Этим составляющим отвечают три интеграла движения – адиабатические инварианты. Если они сохраняются – движение частиц имеет адиабатический (обратимый) характер. Подробнее о движении заряженных частиц, захваченных в геомагнитную ловушку, см. в разделах 1.1 и 2.3.

Частица считается устойчиво захваченной и относится к РП, если она может совершить полный оборот вокруг Земли. Для частиц с определённой энергией и экваториальным питч-углом существует критическое расстояние от Земли, дальше которого полный оборот

невозможен, поскольку траектория частицы пересекает магнитопаузу (нарушается третий адиабатический инвариант). При достаточно больших энергиях частиц нарушается и первый адиабатический инвариант, что также приводит к уходу частиц из ловушки.

Поверхность, разделяющая траектории захваченных и квазизахваченных частиц, называется границей устойчивого захвата. Со стороны области квазизахвата к этой границе примыкает зона полярных сияний (подробнее см. раздел 1.1 и задачу 2.9).

Радиальные профили потоков частиц радиационных поясов разных энергий, измеренные вблизи плоскости геомагнитного экватора (на больших высотах), приведены на рис. 2.

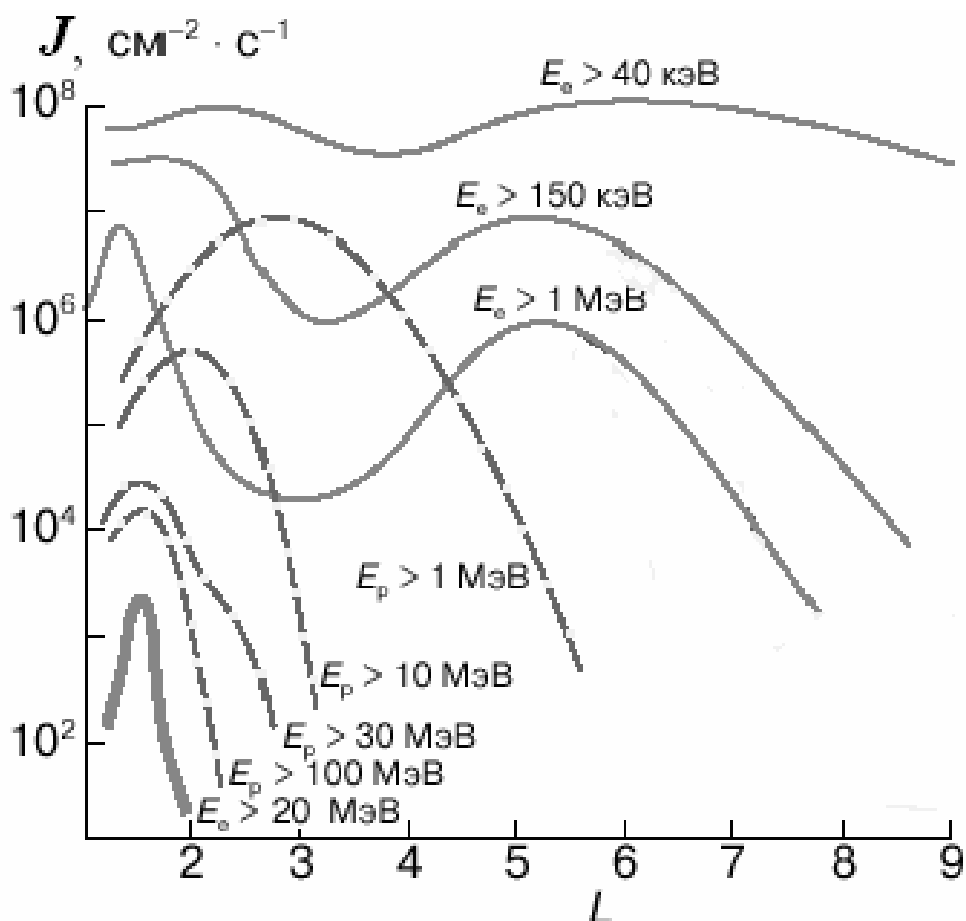


Рис.2. Радиальные профили средних потоков электронов и протонов радиационных поясов различных энергий в плоскости геомагнитного экватора.. L – параметр дрейфовой оболочки.

Особенности радиационных поясов на малых высотах

В отличие от измерений на больших высотах, выполненных вблизи плоскости геомагнитного экватора (см. рис. 2), профили потоков частиц РП, измеряемые на высотах 300÷1000 км, сильно варьируют в зависимости от долготы и геомагнитной обстановки.

На малых высотах вариации потоков частиц РП, особенно электронов, связанные с геомагнитной активностью, значительно сильнее вариаций потоков РП вблизи экваториальной плоскости.

Существенную роль играют здесь значительные отклонения геомагнитного поля от дипольного (см. задачу 2.3).

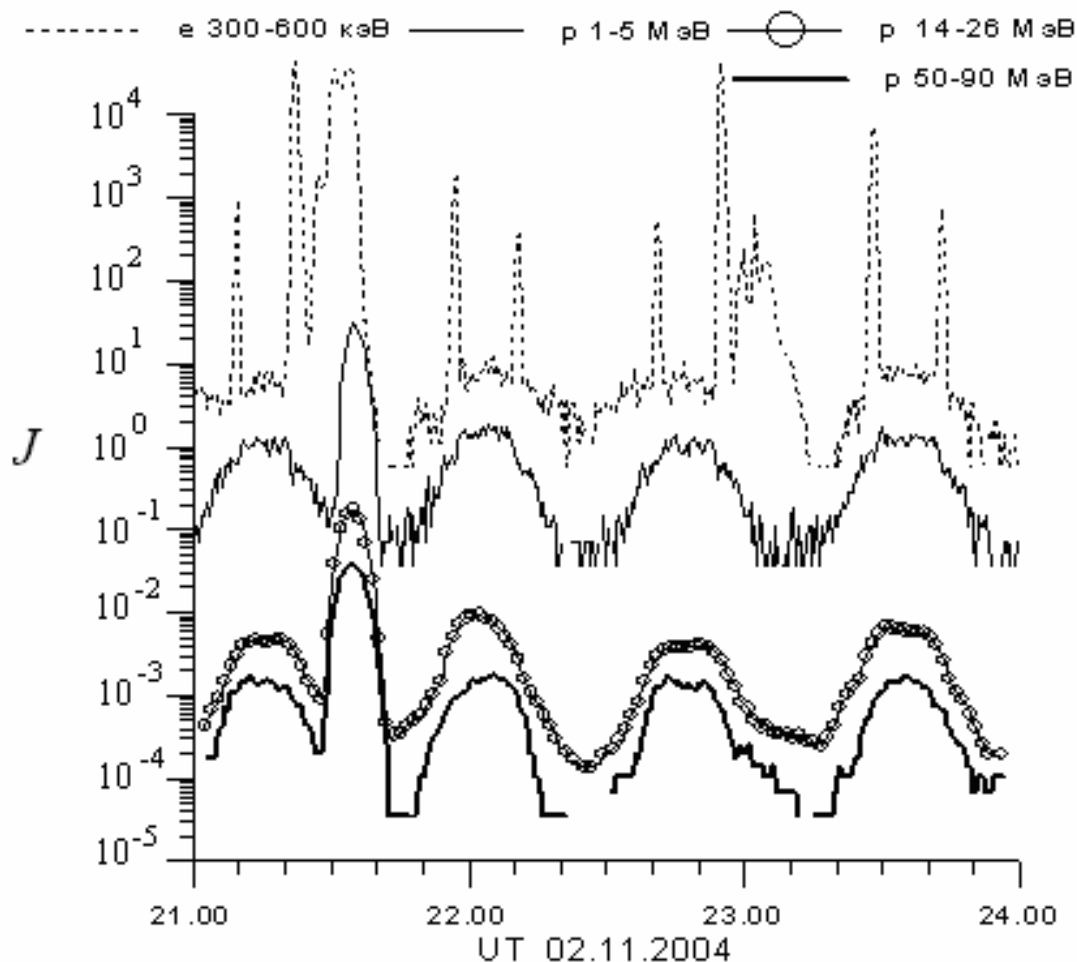


Рис.3. Временной ход потоков электронов и протонов различных энергий по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» 2 ноября 2004 г. Потоки J выражены в $(\text{см}^2 \text{с стер МэВ})^{-1}$.

На рис. 3 представлены характерные пространственно-временные профили потоков протонов и электронов, полученные по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» (два витка) в магнитно-спокойное время (2 ноября 2004 г.) на высоте примерно 400 км. За один виток низковысотный ИСЗ четыре раза пересекает внешний радиационный пояс (дважды в южном и дважды в северном полушарии), по одному разу – северную и южную полярные шапки и один раз за виток может пересечь внутренний пояс (в области Бразильской аномалии).

Для данных, приведенных на рис. 3, «КОРОНАС-Ф» пересекает внешний электронный пояс в 21.10, 21.22, 21.57, 22.10, 22.40, 22.55, 23.27 и 23.42 UT, полярные шапки – в 21.05–21.20, 21.55–22.10, 22.40–22.55 и 23.30–23.40 UT, внутренний пояс (в области Бразильской аномалии) – в 21.35 UT, приэкваториальные области (под поясами) – в 21.40–21.50, 22.15–22.35 и 23.05–23.20 UT.

Из рис. 3 видно, что потоки протонов с $E > 1$ МэВ в полярных шапках выше, чем на средних широтах и на экваторе (под поясами), но значительно (более чем на порядок величины) ниже, чем во внутреннем поясе в области Бразильской аномалии. Вдоль магнитных силовых линий полярные области непосредственно сообщаются с межпланетной средой и отражают её динамику. Поэтому после солнечных вспышек в полярных шапках наблюдаются потоки солнечных космических лучей, что видно и на данном рисунке. Когда Солнце спокойно, потоки протонов в полярных шапках малы и соответствуют фону галактических космических лучей.

Во внутреннем поясе потоки электронов велики и соизмеримы (по порядку величины) с потоками электронов тех же энергий во внешнем поясе (см. рис. 2). Это проявляется и на рис. 3 при сравнении максимальных потоков электронов с $E = 0.3 \div 0.6$ МэВ в ~ 21.22 UT (пересечение внешнего пояса) и в ~ 21.35 UT (пересечение внутреннего пояса в области Бразильской аномалии).

Возрастания потока протонов Мэв-ных энергий при пересечении внешнего пояса на рис. 3 не наблюдаются, что и следовало ожидать.

Кроме внешнего радиационного пояса на рис.3 видны дополнительные области повышенных потоков электронов, возникновение которых связано с ускорением электронов в области квазизахвата.

Прежде чем приступать к выполнению заданий этой задачи, необходимо внимательно изучить общую часть нашего практикума.

Задание 1. Анализ данных ИСЗ «КОРОНАС-И»

1. Используя данные эксперимента на ИСЗ «КОРОНАС-И» (1994 г.), получить в заданном преподавателем интервале времени цифровые файлы данных о потоках электронов в диапазонах $0.5 \div 1.5$ и $2.7 \div 6$ МэВ (<http://dbserv.npi.msu.su/data/release2/elec.htm>) и о потоках протонов (<http://dbserv.npi.msu.su/data/release2/prot.htm>) в диапазонах $4.5 \div 65$, $30 \div 65$ и $65 \div 150$ МэВ. Сохранить эти файлы.
2. Построить вариации потоков электронов и протонов в зависимости от времени и определить моменты прохождения максимумов внешнего и внутреннего РП. Обосновать сделанные выводы: какие из найденных максимумов связаны с пересечением внешнего РП и какие – с пересечением внутреннего РП.
3. По данным об индексах геомагнитной активности K_p и D_{st} (<http://dbserv.npi.msu.su/data/release2/omnionline.html>) выяснить, являлся ли исследуемый период времени магнитно-спокойным или магнитно-возмущенным.

Задание 2. Анализ данных ИСЗ «КОРОНАС-Ф»

1. Используя данные эксперимента на ИСЗ «КОРОНАС-Ф» (http://www.magnetosphere.ru/data/tatyana/coronas_web2.php), получить в заданном преподавателем интервале времени цифровые

файлы данных о потоках электронов в диапазонах $0.6 \div 1.5$, $1.5 \div 3$ и $3 \div 6$ МэВ и потоках протонов в диапазонах $1 \div 5$, $14 \div 26$, $26 \div 50$ и $50 \div 90$ МэВ. Сохранить эти файлы.

2. Построить вариации потоков электронов и протонов в зависимости от времени и определить моменты прохождения максимумов внешнего и внутреннего РП. Обосновать сделанные выводы: какие из найденных максимумов связаны с пересечением внешнего РП и какие – с пересечением внутреннего РП.
3. По данным о геомагнитной активности (K_p -индекс) выяснить, являлся ли исследуемый период магнитно-спокойным или магнитно-возмущённым. Для этого с сайта <http://sec.noaa.gov> нужно скачать архив данных о K_p -индексе (NNNN_kp.tar.gz) за нужный год NNNN. Архив находится в папке NNNN_plots директории <http://sec.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html>. Распаковать данный архив можно при помощи стандартного архиватора WinRAR.
4. Определить максимальные энергии протонов и электронов во внутреннем и внешнем РП. Найти положения по L максимумов внутреннего и внешнего РП (для частиц разных энергий) и рассмотреть, как они изменяются при изменении K_p -индекса.

Задание 3. Анализ данных ИСЗ «Университетский-Татьяна»

1. По данным эксперимента на ИСЗ «Университетский-Татьяна» (<http://cosmos.msu.ru>, раздел «Данные», подраздел «[Измерения потоков заряженных частиц \(КДМ\)](#)») получить в заданном преподавателем интервале времени (начиная с 20 января 2005 г.) данные о скоростях счёта электронов в диапазонах $0.3 \div 0.6$ и $0.6 \div 0.8$ МэВ и протонов в диапазонах $2 \div 14$, $7 \div 15$ и $40 \div 100$ МэВ. Используя значения геометрических факторов приборов G (см. табл.1 в разделе 1.3), преобразовать полученные скорости счёта в потоки частиц.

2. Построить зависимости потоков электронов и протонов от времени и определить моменты прохождения максимума внешнего и внутреннего РП. Обосновать сделанные выводы: какие из найденных максимумов связаны с пересечением внешнего РП и какие – с пересечением внутреннего РП. Определить, какие частицы и с какой энергией наблюдаются во внешнем и внутреннем РП по данным ИСЗ «*Университетский-Татьяна*».
3. По данным о геомагнитной активности (K_p -индекс) выяснить, являлся ли данный период магнитно-спокойным или магнитно-возмущенным (для этого следует выполнить действия, описанные в п. 3 задания 2 данной задачи).
4. Определить максимальные энергии протонов и электронов во внутреннем и внешнем РП.
5. Найти положения по L максимумов внутреннего и внешнего РП (для частиц разных энергий) и рассмотреть, как они изменяются при изменении K_p -индекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рёдерер Х.* Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем. М.: Мир. 1972.
2. *Хесс В.* Радиационный пояс и магнитосфера. М.: Атомиздат. 1972.
3. Модель космического пространства (Модель космоса – 1982). Под ред. С. Н. Вернова. М.: Изд. МГУ. 1983.
4. *Тверской Б. А.* Основы теоретической космофизики. М.: УРСС. 2004.