Федеральное агенство по образованию

Государственное образовательное учреждение

Высшего профессионального образования

«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физический

Реферат

по предмету «Концепции современного естествознания»

Екатеринбург 2009

**Содержание**

Введение

1. Солнце

1.1 Солнце как звезда

1.2 Общая структура Солнца

2. Внутреннее строение Солнца

3. Термоядерные реакции на Солнце

4. Фотосфера Солнца

5. Хромосфера Солнца

6. Солнечная корона

7. Вспышки, протуберанцы и корональные арки

8. Солнечные пятна

9. Солнечный ветер

10. Магнитное поле

10.1 Экспериментальные методы.

10.2. Вариации галактических космических лучей

10.3 Структура магнитосферы

10.4 Динамика магнитосферы

10.5 Магнитосферная суббуря

10.6 Полярные сияния

Заключение

**Введение**

На страницах научной литературы в последнее время часто встречается термин солнечно-земная физика, смысл которого каждый специалист понимает по-своему. Систематически используют этот термин специалисты, занимающиеся физикой Солнца, геомагнитного поля, верхней атмосферы. Все больший интерес к солнечно-земной физике проявляютметеорологи и климатологи, биологи и медики, гидрологи и океанологи, ботаники и зоологи. Нет единого мнения, является ли указанное научное направление возникшим недавно или исследования здесь продолжаются уже столетия. Ниже предложено определение солнечно-земной физики как совокупности наук и перечислены входящие в нее направления. Приведен некоторый перечень достижений: гипотез, разработок и открытий, которые отмечают известные вехи в истории этой совокупности наук и дают определенное представление о круге рассматриваемых ею проблем и задач. Описаны отличительные особенности солнечно-земной физики. Определение Солнечно-земная физика (в дальнейшем СЗФ) - это совокупность наук, изучающих явления и процессы, происходящие на Солнце, и воздействие Солнца на околоземное космическое пространство и планету Земля. Солнце является основным источником гравитационной энергии всолнечнойсистеме и основным источником энергии, поступающей на Землю в волновом и корпускулярном излучении. Все изменения в физическом режиме Солнца находят отражение в состоянии околоземного космического пространства и планеты Земля. СЗФ изучает законы и закономерности физики Солнца и проявлений воздействия Солнца на околоземное пространство и планету Земля с целью раскрытия сущности этих явлений, понимания фундаментальных основ мироздания и обеспечения инженерной деятельности на планете и в ближнем космическом пространстве. Круг явлений и процессов, разыгрывающихся в околоземном пространстве, на планете и в ее оболочках под воздействием Солнца, очень велик и разнообразен. Поэтому к числу научных дисциплин, составляющих упомянутую совокупность, относятся теоретическая физика, физика плазмы, космическая физика, физика верхней атмосферы, геомагнетизм, метеорология, климатология, геотектоника и др. Истечение корональной плазмы (солнечный ветер) играет определяющую роль в состоянии околоземного космического пространства и магнитосферы. Процессы, происходящие в этих областях, выдвигают много проблем, общих для физики Солнца, физики магнитосферы, физики плазмы и астрофизики. Весьма многообразно воздействие солнечного электромагнитного и корпускулярного излучения на атмосферу Земли. Излучение в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах определяет состояние верхних слоев атмосферы: частично мезосферы на высотах более 65 км и термосферы (высоты 90-400 км). Вопросы и проблемы, возникающие при изучении этих областей пространства, относятся к физике плазмы, физике верхней атмосферы, радиофизике и климатологии. В оптическом и, частично, инфракрасном диапазонах сосредоточена основная часть спектральной плотности излучения. Эта часть солнечной радиации трансформируется при энергообмене в средней и нижней атмосфере. Энергообмен является важнейшим фактором для общего течения процессов в нижней и средней атмосфере, а значит и для множества частных гидрометеорологических явлений. Известная связь гидрометеорологического режима с общей циркуляцией атмосферы и связь общей циркуляции атмосферы с солнечной деятельностью приводят к широкому распространению физико-географических проявлений солнечной активности. Имеют место систематические экзогенные явления. Появляющиеся здесь многочисленные задачи и проблемы решаются в рамках метеорологии, климатологии, гидрологии и физической географии. Обстоятельное изложение затронутых выше вопросов можно найти в многочисленных обзорах и монографиях, таких как. Есть аргументированные указания, что солнечная активность может проявляться как геологический фактор. Эти проявления могут объясняться крупными вариациями экзогенных явлений, определяемых, в частности, метеорологическими процессами и палеоклиматическими колебаниями (таяние или образование ледников). Это утверждение, описание подтверждающих его фактов и анализ соответствующих публикаций приведены в. СЗФ является одной из древнейших совокупностей наук. Как только человек осознал себя существом разумным, у него немедленно появилась масса вопросов относительно окружающей среды, относительно окружающего мира. Что это за мир, где мы существуем, как он устроен, какие причинно-следственные связи имеют место и как именно они действуют - какие законы управляют окружающей средой, как правильно описать состояние этой среды и как прогнозировать ее поведение? СЗФ и астрономия - сестры-близнецы, но задачи у этих наук разные, и развивалась каждая из них своим путем. Вся история СЗФ это непрерывное взаимно догоняющее и взаимно стимулирующее развитие фундаментальных и прикладных исследований.

Задачи

В настоящее время научное сообщество располагает глобальной сетью гидрометеорологических, магнитных, ионосферных, солнечных, сейсмических и других станций, обсерваторий и экспедиций, выполняющих непрерывные наблюдения за состоянием электромагнитного поля Земли, состоянием атмосферы на различных высотных уровнях, солнечной активностью, сейсмической активностью и многими другими процессами и объектами СЗФ. Упорядочение работы всех станций и обсерваторий в части программ наблюдений, первичной обработки получаемого материала, хранения и использования этих экспериментальных материалов было выполнено в ходе реализации ряда международных научных проектов, начиная с Международного Геофизического Года. Организованные в 1956-57гг. Международные Центры Данных имеют в настоящее время большие массивы материалов наблюдений и выполняют обмен этими материалами между организациями-участниками наблюдательных программ. В последнее время такой обмен успешно выполняется в телекоммуникационной сети Интернет. Получаемые экспериментальные материалы используются различными научными учреждениями для выполнения фундаментальных исследований и специальными организациями - прогностическими центрами - для нужд народного хозяйства. Гидрометеорологическими прогнозами различной срочности обеспечиваются городские и сельские регионы, прогнозами условий коротковолновой связи, условий работы бортовых и наземных технологических систем, ситуаций, представляющих угрозу для человеческой жизни или здоровья, обеспечиваются соответствующие организации и службы. В РФ обеспечение нужд народного хозяйства выполняет федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Исследования по СЗФ проводятся в настоящее время во многих научных учреждениях разных стран. Известное место в этих работах занимает Институт солнечно-земной физики Сибирского Отделения РАН. Созданный на базе старейшей магнитно-метеорологической обсерватории России ИСЗФ СО РАН имеет теперь мощную экспериментальную базу и выполняет обширную программу наблюдений и исследований по всем дисциплинам СЗФ. Изучен большой круг явлений и процессов на Солнце, в ближнем космическом пространстве и атмосфере Земли. Предложены теоретические объяснения и физические механизмы этих явлений, разработан ряд последовательно усложняющихся по объему учитываемых параметров и процессов моделей глобального распределения параметров системы Солнце-магнитосфера-ионосфера-атмосфера. Получены убедительные доказательства определяющего влияния солнечных процессов на состояние околоземного пространства, магнитосферно-ионосферного взаимодействия и метеорологических эффектов в ионосферных процессах. Созданы предпосылки разработки единой модели физической системы Солнце-Земля. Внесен значительный вклад в развитие и становление СЗФ. Основной, фундаментальной задачей СЗФ является исследование на основе многолетних однородных наблюдений, явлений и процессов на поверхности Солнца, распространение потока солнечного излучения в спокойных и возмущенных условиях в пространстве на участке от Солнца до Земли и воздействие этого излучения на магнитосферу, атмосферу и гидросферу; изучение магнитосферно-ионосферных взаимодействий, изучение формирования и протекания процессов в атмосфере на всех высотных уровнях в планетарном масштабе, взаимодействия атмосферы и гидросферы, изучение климатообразующих факторов и процессов, формирующих погоду, исследование антропогенных влияний на окружающую среду и разработка соответствующих теоретических вопросов. Это необходимо для обеспечения четкой и точной информацией об околоземном пространстве всех видов деятельности человека в этой среде. Успехи и достижения в перечисленных областях СЗФ расширят наши представления о строении и эволюции Вселенной и окружающей среды, углубят и уточнят понимание единства физического мира, откроют новые ресурсы, сделают понятными процессы формирования погоды, климата и состояния ближнего космического пространства и будут способствовать развитию смежных научных дисциплин.

**1. Солнце**

Солнце - центральное тело нашей планетной системы, возникло около 4.7 млрд. лет тому назад вместе с другими планетами.

**1.1 Солнце как звезда**

Солнце - ближайшая к Земле звезда, является рядовой звездой нашей Галактики. Это карлик главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела. Принадлежит к спектральному классу G2V.

Ее физические характеристики:

* Масса 1.989 1030 кг
* Радиус 696 тыс. км
* Температура поверхности 5780 K;
* Видимый радиус 31'
* Угловой масштаб 725км на 1"
* Средняя плотность 1.41 кг/м3
* Светимость 3.85 1026 Вт
* Эффективная температура 5779 К
* Период вращения (синодический) - от 27 сут. на экваторе до 32 сут. у полюсов
* Ускорение свободного падения в фотосфере 274 м/с2.
* Параболическая скорость убегания 617.7км/с
* Среднее расстояние от Земли (астрономическая еденица -а.е.) примерно 149.6 млн. км.

**С**олнечная постоянная - определяется как полное количество лучистой солнечной энергии, проходящей за единицу времени через единицу площади, перпендикулярной направлению на Солнце и расположенную за пределами земной атмосферы

**У**множая эту величину на площадь сферы с радиусом в 1 а. е., получим полное количество энергии, излучаемой Солнцем по всем направлениям в единицу времени, т.е. его болометрическую светимость. Она равна 3,84\* 1026 Дж/с, (3.8\*•1033 эрг/с), или 3,8\*•1026 Вт. Единичная площадка в фотосфере Солнца размером в 1 м2 излучает 63.1 МВт.

**1.2 Общая структура Солнца**

* энерговыделяющее ядро (от центра до расстояния в четверть радиуса)
* область лучистой теплопроводности (от 1/4 до 2/3 радиуса)
* конвективная зона (последняя треть радиуса)

Выше конвективной зоны начинаются непосредственно наблюдаемые внешние слои атмосферы Солнца.

Вращение Солнца происходит вокруг некоторой оси, перпендикулярной плоскости солнечного экватора.

Солнечный экватор образует с плоскостью эклиптики угол в 7o15' и от него отсчитываются гелиографические широты на Солнце. На экваторе линейная скорость вращения Солнца составляет около 2 км/c.

Вращение Солнца обладает важной особенностью: его угловая скорость , определяемая по перемещениям пятен, убывает по мере удаления от экватора в среднем по закону

ω=14.4o-2.7sin2φ,

где φ - гелиографическая широта, а ω - угол поворота за сутки. Соответствующий сидерический период (относительно неподвижных звезд) составляет около 25 дней на экваторе и достигает 30 дней вблизи полюсов. Земля движется вокруг Солнца в ту же сторону, и период вращения Солнца относительно земного наблюдателя (синодический период) составляет почти 27 дней на экваторе и 32 дня у полюсов.

Ось вращения Солнца наклонена к плоскости эклиптики, угол между плоскостью солнечного экватора и плоскостью эклиптики 7o 15' , а долгота восходящего узла экватора Ω = 73,667 + (t-1850)·0,01396°, где t-дата, выраженная в годах. Земля пересекает плоскость солнечного экватора дважды в год: в начале июня и в конце декабря.

В течение первого полупериода она находится в южном полушарии по отношению к плоскости солнечного экватора, в течение второго - в северном. Средняя скорость вращения Земли вокруг Солнца V = 30 км/с.

**2. Внутреннее строение Солнца**

Солнце – раскаленный газовый шар, температура в центре которого очень высока, настолько, что там могут происходить ядерные реакции. В центре Солнца температура достигает 15 миллионов градусов, а давление в 200 миллиардов раз выше, чем у поверхности Земли. Солнце – сферически симметричное тело, находящееся в равновесии. Плотность и давление быстро нарастают вглубь; рост давления объясняется весом всех вышележащих слоев. В каждой внутренней точке Солнца выполняется условие гидростатического равновесия. Давление на любом расстоянии от центра уравновешивается гравитационным притяжением. Радиус Солнца приблизительно равен 696 000 км. В центральной области с радиусом примерно в треть солнечного ядра происходят ядерные реакции. Затем через зону лучистого переноса энергия излучением переносится из внутренних областей Солнца к поверхности. И фотоны, и нейтрино рождаются в зоне ядерных реакций в центре Солнца. Но если нейтрино очень слабо взаимодействуют с веществом и мгновенно свободно покидают Солнце, то фотоны многократно поглощаются и рассеиваются до тех пор, пока не достигнут внешних, более прозрачных слоев атмосферы Солнца, которую называют фотосферой. Пока температура высока – больше 2 миллионов градусов, – энергия переносится лучистой теплопроводностью, то есть фотонами. Зона непрозрачности, обусловленная рассеянием фотонов на электронах, простирается примерно до расстояния 2/3R радиуса Солнца. При понижении температуры непрозрачность сильно возрастает, и диффузия фотонов длится около миллиона лет. Примерно с расстоянии 2/3R находится конвективная зона. В этих слоях непрозрачность вещества становится настолько большой, что возникают крупномасштабные конвективные движения. Здесь начинается конвекция, то есть перемешивание горячих и холодных слоев вещества. Время подъема конвективной ячейки сравнительно невелико – несколько десятков лет. В солнечной атмосфере распространяются акустические волны, подобные звуковым волнам в воздухе. В верхних слоях солнечной атмосферы волны, возникшие в конвективной зоне и в фотосфере, передают солнечному веществу часть механической энергии конвективных движений и производят нагревание газов последующих слоев атмосферы – хромосферы и короны. В результате верхние слои фотосферы с температурой около 4500 K оказываются самыми «холодными» на Солнце. Как вглубь, так и вверх от них температура газов быстро растет. Всякая солнечная атмосфера постоянно колеблется. В ней распространяются как вертикальные, так и горизонтальные волны с длинами в несколько тысяч километров. Колебания носят резонансный характер и происходят с периодом около 5 минут. Внутренние части Солнца вращаются быстрее; особенно быстро вращается ядро. Именно особенности такого вращения могут приводить к возникновению магнитного поля Солнца.

**3. Термоядерные реакции на Солнце**

В 1935 году Ханс Бете выдвинул гипотезу, что источником солнечной энергии может быть термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Именно за это Бете получил Нобелевскую премию в 1967 году. Химический состав Солнца примерно такой же, как и у большинства других звезд. Примерно 75 % – это водород, 25 % – гелий и менее 1 % – все другие химические элементы (в основном, углерод, кислород, азот и т.д.). Сразу после рождения Вселенной «тяжелых» элементов не было совсем. Все они, т.е. элементы тяжелее гелия и даже многие альфа-частицы, образовались в ходе «горения» водорода в звездах при термоядерном синтезе. Характерное время жизни звезды типа Солнца десять миллиардов лет. Основной источник энергии – протон-протонный цикл – очень медленная реакция (характерное время 7,9•109 лет), так как обусловлена слабым взаимодействием. Каждую секунду Солнце перерабатывает около 600 миллионов тонн водорода. Запасов ядерного топлива хватит еще на пять миллиардов лет, после чего оно постепенно превратится в белый карлик.

**4. Фотосфера Солнца**

Наблюдаемое излучение Солнца возникает в его тонком внешнем слое, который называется фотосферой. Толщина этого слоя 0,001R = 700 км. В фотосфере образуется видимое излучение Солнца, имеющее непрерывный спектр. «Видимая» поверхность Солнца определяется той глубиной в атмосфере, ниже которой она практически непрозрачна. Солнце – газовый шар, не имеющий четких границ. Однако мы видим его резко очерченным потому, что практически все излучение Солнца исходит из фотосферы. Видимый нами свет излучается отрицательными ионами водорода. Они же его и поглощают, поэтому с глубиной фотосфера быстро теряет прозрачность. На поверхности Солнца можно разглядеть много деталей. Вся фотосфера Солнца состоит из светлых зернышек, пузырьков. Эти зернышки называются гранулами. Размеры гранул невелики, 1000–2000 км (около 1" дуги), расстояние между ними – 300–600 км. На Солнце наблюдается одновременно около миллиона гранул. Каждая гранула существует несколько минут. Гранулы окружены темными промежутками, как бы сотами. В гранулах вещество поднимается, а вокруг них – опускается. Грануляция – проявление конвекции в более глубоких слоях Солнца. Гранулы создают общий фон, на котором можно наблюдать несравненно более масштабные образования, такие, как протуберанцы, факелы, солнечные пятна и др.

**5. Хромосфера Солнца**

Хромосфера Солнца видна только в моменты полных солнечных затмений. Луна полностью закрывает фотосферу, и хромосфера вспыхивает, как небольшое кольцо ярко-красного цвета, окруженное жемчужно-белой короной. Размеры хромосферы 10–15 тысяч километров, а плотность вещества в сотни тысяч раз меньше, чем в фотосфере. Температура в хромосфере быстро растет, достигая в верхних ее слоях десятков тысяч градусов. Рост температуры объясняется воздействием магнитных полей и волн, проникающих в хромосферу из зоны конвективных движений. На краю хромосферы наблюдаются выступающие язычки пламени – хромосферные спикулы, представляющие собою вытянутые столбики из уплотненного газа. Температура этих струй выше, чем температура фотосферы. Во время полного солнечного затмения можно получить спектр хромосферы, который называется спектр вспышки. Он состоит из ярких эмиссионных линий водорода бальмеровской серии, гелия, ионизированного кальция и других элементов, которые внезапно вспыхивают во время полной фазы затмения.

**6. Солнечная корона**

Самая внешняя, самая разреженная и самая горячая часть солнечной атмосферы – корона. Она прослеживается от солнечного лимба до расстояний в десятки солнечных радиусов. Несмотря на сильное гравитационное поле Солнца, это возможно благодаря огромным скоростям движения частиц, составляющих корону. Корона имеет температуру около миллиона градусов и состоит из высокоионизированного газа. Возможно, причиной такой высокой температуры являются поверхностные выбросы солнечного вещества в виде петель и арок. Миллионы колоссальных фонтанов переносят в корону вещество, нагретое в глубинных слоях Солнца. Яркость короны в миллионы раз меньше, чем фотосферы, поэтому корону можно видеть только во время полного солнечного затмения, либо с помощью коронографа. Наиболее яркую ее часть принято называть внутренней короной. Она удалена от поверхности Солнца на расстояние не более одного радиуса. Внешняя корона Солнца имеет протяженные границы. Важной особенностью короны является ее лучистая структура. Корональные лучи имеют самую разнообразную форму. С одиннадцатилетним циклом Солнца меняется общий вид солнечной короны. В эпоху минимума корона имеет округлую форму, она как бы «причесана». В эпоху максимума корональные лучи раскинуты во все стороны.

**7. Вспышки, протуберанцы и корональные арки**

Часто, особенно когда на Солнце имеются большие группы пятен, в хромосфере возникают вспышки. Причины вспышек пока еще плохо изучены; по-видимому, они вызываются резким изменением магнитного поля в хромосфере. Энергия вспышки выделяется в вершине корональной петли, затем распространяется в сторону фотосферы, вызывая нагрев и испарение более холодных слоев. При этом излучение резко возрастает не только в видимой области спектра, но и в ультрафиолете, и в рентгеновской области спектра, увеличивается поток космических лучей. Вспышки вызывают изменения в магнитном поле Земли и могут даже повредить системы электроснабжения. Другим проявлением солнечной активности является появление плазменных образований в магнитном поле солнечной атмосферы – волокон. Если эти волокна видны на краю Солнца, то они наблюдаются как протуберанцы. Протуберанцами называются огромные образования в короне Солнца. Плотность и температура протуберанцев такая же, как и вещества хромосферы, но на фоне горячей короны протуберанцы – холодные и плотные образования. Температура протуберанцев около 20 000 К. Некоторые из них существуют в короне несколько месяцев, другие, появляющиеся рядом с пятнами, быстро движутся со скоростями около 100 км/с и существуют несколько недель. Отдельные протуберанцы движутся с еще большими скоростями и внезапно взрываются; они называются эруптивными.

**8. Солнечные пятна**

Пятна на Солнце – очевидный признак его активности. Это более холодные области фотосферы. Температура пятен около 3500 К, поэтому на ярком фоне фотосферы (с температурой около 6000 К) они кажутся темнее. Солнечные пятна имеют внутреннюю структуру: более темную центральную часть – ядро – и окружающую ее полутень. Солнечные пятна часто образуют группы, которые могут занимать значительную площадь на солнечном диске. Установлено, что пятна – места выхода в атмосферу сильных магнитных полей. Поля уменьшают поток энергии, исходящий из ядра, поэтому в месте их выхода на поверхность температура падает. Пятна обычно возникают группами. Пятна на Солнце часто бывают окружены светлыми зонами, называемыми факелами. Они горячее атмосферы примерно на 2000 К и имеют ячеистую структуру (величина каждой ячейки – около 30 тысяч километров). Часто встречаются факельные поля, внутри которых пятен нет. Факелы образуются в результате конвекции из глубоких слоев Солнца. Они существуют недели и месяцы. В некоторых факельных полях между гранулами появляется черная точка, она начинает быстро расти и на следующий день превращается в пятно с резкой границей. Через 3–4 дня вокруг пятна образуется полутень. К десятому дню площадь пятна достигает максимума, после этого оно начинает уменьшаться и, наконец, исчезает. В группе пятен сначала исчезают самые мелкие пятна. Недалеко от пятен протягиваются темные нити длиной вплоть до сотен тысяч километров. Они представляют собой зоны нулевого магнитного поля и отделяют регионы с противоположной полярностью. В период минимума солнечной активности пятна появляются в средних широтах, в периоды максимума – около экватора. Около полюсов пятна практически не наблюдаются. Цикл активности солнечных пятен имеет прямое отношение к земному климату.

**9. Солнечный ветер**

Солнце является источником постоянного потока частиц. Нейтрино, электроны, протоны, альфа-частицы, а также более тяжелые атомные ядра все вместе составляют корпускулярное излучение Солнца. Значительная часть этого излучения представляет собой более или менее непрерывное истечение плазмы, так называемый солнечный ветер, являющийся продолжением внешних слоев солнечной атмосферы – солнечной короны. Вблизи Земли его скорость составляет обычно 400–500 км/с. Поток заряженных частиц выбрасывается из Солнца через корональные дыры – области в атмосфере Солнца с открытым в межпланетное пространство магнитным полем. Солнце вращается с периодом 27 суток. Траектории движения частиц солнечного ветра, движущихся вдоль линий индукции магнитного поля, имеют спиральную структуру, обусловленную вращением Солнца. В результате вращения Солнца геометрической формой потока солнечного ветра будет архимедова спираль. В дни солнечных бурь солнечный ветер резко усиливается. Он вызывает полярные сияния и магнитные бури на Земле, а космонавтам не следует в это время выходить в открытый космос. Под воздействием солнечного ветра хвосты комет всегда направлены в сторону от Солнца. Солнце – мощный источник радиоизлучения. В межпланетное пространство проникают сантиметровые радиоволны, которые излучает хромосфера, и более длинные волны, излучаемые короной.

**10. Магнитное поле**

Геоэффективность СВ, т.е. эффективность передачи энергии СВ в магнитосферу Земли зависит от ориентации ММП и максимальна при отрицательной, южной ориентации и при больших величинах Bz. Если ситуация Bz>0 сохраняется больше 30-60 минут, можно с большой вероятностью ожидать развитие магнитосферной суббури. В возмущенном солнечном ветре отмечается несколько типов крупномасштабной конфигурации ММП - секторная структура, магнитные петли и пр.

**10.1 Экспериментальные методы**

Первые прямые измерения солнечного ветра были сделаны на советском космическом корабле в 1959 году (К.И. Грингауз) простой ионной ловушкой. В дальнейшем начали использовать детекторы частиц с все более лучшим энергетическим, временным и пространственным разрешением.

**10.2 Вариации галактических космических лучей**

Гелиосфера, изменчивость которой обусловлена процессами на Солнце, в свою очередь влияет на временное и пространственное распределение интенсивности галактических космических лучей. Влияние это проявляется в виде вариаций космических лучей, регистрируемых приборами, установленными на мировой сети станций космических лучей, космических аппаратах, спутниках и аэростатах.

Выделим следующие классы вариаций в порядке убывания периода: 11-летние вариации, связанные с соответствующей цикличностью солнечной активности. Интенсивность космических лучей в годы максимума солнечной активности на ниже, чем в минимуме. Амплитуда вариаций - от 10-50% в зависимости от энергетического диапазона и точки наблюдения регистрирующего прибора.

Двухлетние, годовые и сезонные вариации имеют меньшую амплитуду и отражают изменения солнечной активности, положения орбиты Земли относительно плоскости эклиптики и наклона земной оси.

27-дневные вариации обусловлены неоднородностью долготного распределения активных образований на Солнце и соответствующей секторной структурой солнечного ветра.

Форбуш-эффект, понижение интенсивности ГКЛ во время магнитных бурь. Главной причиной является экранирование Земли (и, соответственно, наземной регистрирующей аппаратуры) магнитными полями скоростных потоков солнечного ветра. Амплитуда эффекта может достигать 50%.

Суточные вариации связаны с анизотропией прихода ГКЛ к Земле, которая в свою очередь создается структурой магнитных полей гелиосферы. Амплитуда суточных вариаций - несколько процентов. На приведенном выше рисунке видна изменчивость амплитуды и фазы суточных вариаций.

Физические процессы, вызывающие перечисленные выше эффекты модуляции космических лучей известны.

Это прежде всего диффузия заряженных космических лучей на неоднородностях магнитного поля солнечного ветра. Кроме того, регулярная составляющая магнитного поля приводит к эффекту частичной канализации траекторий частиц вдоль силовых линий, создавая анизотропию. И, наконец, электрические поля, связанные с движением вмороженного магнитного поля спокойного солнечного ветра и усиленные на фронтах скоростных потоков, меняют энергию заряженных частиц.

Эффекты торможения или ускорения невелики и могут быть выявлены на низкоэнергичном участке спектра космических лучей. Подробно о вариациях космических лучей см. на странице, созданной С.И. Свертиловым.

**10.3 Структура магнитосферы**

Магнитосферой Земли назовем окружающее ее космическое пространство, на состояние которого влияет магнитное поле Земли. Структура магнитосферы определяется взаимодействием магнитного поля Земли с солнечным ветром.

**Магнитное поле.** На обращенной к Солнцу стороне поток заряженных частиц солнечного ветра встречает сопротивление магнитного поля Земли, в результате образуется две границы - плазменная граница, головная ударная волна и магнитопауза за которой начинается собственно магнитосфера. Эти две границы разделенны переходной областью.

Собственно магнитосферу принято делить на *внутреннюю*, где определяющим является влияние магнитного поля земного диполя и *внешнюю*, где магнитное поле задается преимущественно внешними источниками, токами, текущими по границам и внутри магнитосферы. В возмущенное время важную роль играет переходная область, где наблюдается динамическая конкуренция полей внутренних и внешних источников.

Структура магнитного поля наименее возмущена вблизи Земли. Здесь силовые линии имеют дипольный характер, плотность энергии магнитного поля намного выше плотности энергии захваченных частиц. Дальше от Земли, уже в максимуме внешнего пояса конфигурация значительно отличается от дипольной, силовые линии поджаты с дневной стороны и вытянуты на ночной. Переход от квазидипольной к хвостовой конфигурации в большинстве моделей магнитосферы имеет плавный характер, однако в реальных условиях, особенно в возмущенные периоды, существует резкая граница, для которой характерны быстрые движения в радиальном направлении и которая может быть неоднородна в азимутальном (поперек хвоста) направлении.

На дневной стороне важным структурным образованием является касп, или, точнее, два каспа, магнитные воронки в северном и южном полушарии, открытые для проникновения частиц солнечного ветра.

В хвостовой части к магнитопаузе примыкает мантия, затем идут доли хвоста, разделенные нейтральной плоскостью. Силовые линии магнитного поля, направленные в противоположные стороны вблизи нейтральной плоскости подходят близко друг к другу, создавая предпосылки для пересоединения силовых линий. Повидимому пересоединеение играет важную роль в динамике частиц в хвосте магнитосферы во время возмущений.

**Плазма.** Структуры и границы в магнитосфере определяются не только магнитным полем, но и популяциям плазмы и энергичных частиц. Ближе к Земле располагается облако плазмы, именуемое плазмосферой. Здесь частицы плазмы вращаются вместе с Землей, увлекаемые электрическим полем коротации. Граница плазмосферы нессиметрична - на вечерней стороне она отдаляется от Земли, образуя вечерний выступ или рог. Граница резко очерчена плазмопаузой - областью пониженной плотности плазмы. Дальше от Земли плотность плазмы снова растет, но это уже новое образование, плазменный слой, широкая плоская поверхность, простирающаяся далеко вдоль хвоста магнитосферы вплоть до орбиты Луны. Ближняя к Земле область плазменного слоя лежащая на замкнутых квазидипольных силовых линиях мангнитного поля и перекрывающаяся с областями захвата и квазизахвата энергичных частиц, называется центральным плазменным слоем. Его граница с хвостовой частью плазменного слоя проходит на расстоянии 7-20 Re в зависимости от уровня магнитной активности.

На восточной и западной границах плазменного слоя, примыкающих к границе магнитосферы, выделяют пограничный плазменный слой.

**Радиационные пояса.** Магнитосфера Земли является резервуаром энергичных частиц, электронов и ионов, преимущественно протонов. Частицы встречаются во всех частях магнитосферы, однако можно выделить области устойчивого захвата - внутренний и внешний радиационные пояса и область неустойчивого или квази-захвата.

Во внешней магнитосфере, в хвосте и в каспе наблюдаются транзиентные потоки энергичных частиц, отдельные всплески и фоновая радиация, часто повышенная по сравнению с фоном космических лучей. В отдельных событиях повышенный фон связан с приходом космических лучей солнечного или гелиосферного происхождения.

Движение захваченных или квазизахваченных частиц в ловушке можно разделить на три квазинезависимых гармонических составляющих - ларморовское вращение вокруг силовой линии, скачки или осцилляции вдоль силовой линии между зеркальными точками и магнитный дрейф вокруг Земли. В отсутствии возмущений и при определенном соотношении параметров магнитного поля и частиц устанавливается адиабатический характер движения и для каждой из составляющих сохраняются неизменными определенные сочетания параметров, так называемые адиабатические инварианты.

Частица считается устойчиво захваченной, если она может совершить полный оборот вокруг Земли. Для каждого типа частиц, энергии и питч-угла существует критическое расстояние от Земли, дальше которого полный оборот теоретически невозможен, траектория частицы на вечерней или на утренней стороне уходит за магнитопаузу. Этот переход к режиму квазизахвата называют границей устойчивого захвата. Область устойчивого захвата называют радиационными поясами Земли. Исторически сложилось деление на внутренний и внешний радиационный пояс, хотя провал в интенсивности электронов, разделяющий эти два пояса, существует лишь в ограниченном спектральном диапазоне.

Структура и динамика радиационных поясов, механизмы ускорения, сброса, диффузии частиц - обширная область магнитосферной физики. В нашем учебнике эти вопросы освещаются в базовом файле Радиационные пояса Земли.

Область квазизахвата. Между радиационным поясом и хвостом магнитосферы расположена область неустойчивой радиации или квазизахвата. Граница устойчивого захвата не является резкой даже для частиц одного сорта, энергии и питч-угла. Благодаря питч-угловой и радиальной диффузии граница размазывается, и склон внешнего радиационного пояса растягивается на несколько земных радиусов. В результате переход к области квазизахвата получается плавным, происходит перекрытие, и в любой точки зоны квазизахвата можно обнаружить и частицы радиационного пояса, и свежеускоренные частицы авроральной радиации или кольцевого тока.

Надо сказать, что к этой важной особенно для возмущенного времени области отношение неоднозначное. На многих схемах ее вообще нет или она объединена с хвостовой частью плазменного слоя. Во многих работах применяется несколько безликие обозначения - внутренняя магнитосфера, геостационарная область, околоземная часть плазменного слоя. Название "Авроральная магнитосфера", отражающее сопряженность этой области с авроральной зоной, не получило распространения. Мы будем здесь использовать термин зона квазизахвата, как отражающий главные особенности структуры магнитного поля и движения частиц: несмотря на умеренную или сильную диффузию, несохранение адиабатических инвариантов, энергичные частицы здесь захвачены, сохраняют три компоненты движения- ларморовское вращение, осцилляции вдоль силовой линии и магнитный дрейф, хотя и не замкнутый вокруг Земли.

**10.4 Динамика магнитосферы**

Магнитосфера Земли редко находится в спокойном, стабильном состоянии. Более часто она возмущена, т.е. ее границы, поля, плазма и потоки энергичных частиц движутся, меняются, перестраиваются. Возмущения делятся на три группы. Полярные возмущения затрагивают лишь внешнюю магнитосферу, границы, касп и хвост магнитосферы, а в проекции на ионосферу - область полярных шапок, северной и южной. Магнитосферные суббури происходят в пограничной области между внешней и внутренней магнитосферой, в зоне квазизахвата и плазменном слое хвоста. В проекции на Землю - это авроральная зона или зона полярных сияний. Наконец, магнитные бури затрагивают всю магнитосферу, большие изменения происходят как во внутренней, так и во внешней магнитосфере. Отличаются эти три типа возмущений и по длительности - полярные возмущения скоротечны, длительность отдельного события - 5-20 минут, изолированная суббуря продолжается около часа, суббуревое возущение с множественным началом - несколько часов. Магнитная буря продолжается несколько дней и включает в себя и суббури и полярные возмущения.

**10.5 Магнитосферная суббуря**

Термин *"суббуря"* был введен в 1961г. С-И. Акасофу для обозначения авроральных возмущений в зоне сияний длительностью порядка часа. В магнитных данных еще раньше были выделены бухтообразные возмущения, совпадающие по времени с суббурей в полярных сияниях. Со временем термин "магнитосферная суббуря" объединил большую совокупность процессов в магнитосфере и ионосфере.

Рассматривая суббурю как последовательность процессов накопления энергии в магнитосфере и взрывного высвобождения энергии, можно обозначить две области, обе на ночной стороне Земли, где для развития взрывной неустойчивости могут возникнуть благоприятные условия. Первая область - это хвост магнитосферы, его часть вблизи нейтрального слоя. Здесь неустойчивость определяется геометрией силовых линий, направленных навстречу друг другу, что создает возможность пересоединения силовых линий, при которой возникают сильные индукционные поля, ускоряющие эаряженные частицы.

Область квазизахвата вблизи полуночного меридиана также полагается благоприятной для развития взрывной неустойчивости. Здесь магнитное поле имеет квазидипольную конфигурацию, силовые линии вытянуты в хвост, но способны удерживать и накапливать заряженные частицы в магнитной ловушке. Элементарная суббуря состоит из трех фаз: *подготовительной (growth phase), активной (active phase)* и *фазы затухания (recovery phase).* Взрывное начало *(onset)* активной фазы выделяется как отдельный объект исследований, кроме того, первые 5-15 минут активной фазы имеют самостоятельное обозначение как фаза экспансии *(expansion phase).*

Элементарная изолированная суббуря наблюдается редко, как правило возмущение состоит из нескольких *интенсификаций*, каждая из которых имеет такие элементы суббури, как взрывное начало, экспансию и локальные элементы подготовительной фазы.

Мощность суббури можно оценить по максимальной величине вариации в Н-составляющей магнитного поля ( Au, Al и Ae - индексы)и по площади охваченного возмущением пространства (Кр-индекс) , по протяженности экспансии суббури к полюсу.

**10.6 Полярные сияния**

**Аппаратура.** Научный анализ полярных сияний начинался с визуальных наблюдений, и до последнего времени записи визуальных наблюдений в специальном журнале сопровождали все прочие инструментальные измерения в серьезных обсерваториях и экспедициях. Довольно давно для исследования спектра сияний стали использоваться спектрографы и спектрометры, среди которых спектральная камера С180S была наиболее распространенной на отечественной сети станций. Для исследования изменений свечения во времени использовались фотометры, в основном на основе фотоэлектронных умножителей в сочетании с оптическими фильтрами или без оных и с разного типа фокусирующими устройствами и тубусами.

В связи с программой Международного геофизического года (МГГ) в СССР была разработана и внедрена на сети станций проф. МГУ А.И. Лебединским фото камера всего неба, которая долгое время являлась основным источником информации о пространственной эволюции полярных сияний. В настоящее время на смену С180 пришла телевизионная техника и временное разрешение повысилось от 1 кадра в минуту до 24 в секунду.

**Зоны и формы полярных сияний.** Полярные сияния возникают как следствие бомбардировки атмосферы потоками заряженных частиц, протонов и электронов с энергией от сотен эВ до сотен кэВ. Эти частицы так и называют - *авроральные частицы или авроральная радиация* (см.). Распределение областей свечения по земному шару неравномерно, и отражает особенности строения магнитосферы. Основные зоны полярных сияний показаны на рис 3a. Кольцевая *авроральная зона* располагается несимметрично вокруг магнитного полюса, в полночь максимум свечения находится около 67o, в полдень - 71o. В спокойное время эта основная зона сияний стягивается в тонкую линию, интенсивность понижается иногда и до субвизуального уровня. В возмущенное время кольцо (или овал) сияний расширяется, появляются яркие динамичные формы.

Магнитные силовые линии от экваториальной границы мгновеной авроральной зоны проектируются на на склон внешнего радиационного пояса, в сильных суббурях вплоть до *границы устойчивого захвата,* приполюсная граница зоны сияний соответствует *фоновой границе зоны квазизахвата* энергичных частиц. Если в зоне сияний дуги в основном ориентированы с востока на запад, в полярной шапке дуги сияний вытянуты с севера на юг и во время суббурь наблюдаются реже, чем в магнитоспокойное время. Геометрически *сияния полярной шапки* проектируются в доли хвоста магнитосферы и их динамика связана с солнечным ветром.

После того, как в строении магнитосферы были открыты *каспы* - воронки силовых линий, напрямую доступные потокам частиц солнечного ветра, стали выделять в особую группу и *касповые сияния.* Они отличаются большой высотой свечения и, соответственно, низкими энергиями потоков вызывающих их электронов.

Полярные сияния наблюдаются не только в высоких широтах, но и довольно часто в субавроральной области и эпизодически, во время магнитных бурь, в средних широтах. Природа среднеширотных сияний вероятно связана с динамикой радиационного пояса, но исследованы они явно недостаточно.

Форма и динамика сияний - дуги, полосы, диффузные пятна и т.д. - отражают структуру и динамику плазменных образований и магнитного поля в авроральной магнитосфере и в этом плане весьма интересны для понимания происходящих там процессов. Надо отметить, что пик интереса к описанию и классификации форм сияний относится к тем временам, когда и о существовании магнитосферы не было известно, и только сейчас наблюдается возврат к исследованию динамики структур сияний, опирающийся на телевизионные наблюдения.

**Ионосфера и распространение радиоволн.** Ионосферой называют пограничную часть атмосферы Земли, в которой уровень ионизации достаточно велик, чтобы оказывать заметное влияние на распространение радиоволн. Нижняя граница ионосферы располагается на высоте 50-60 км, верхняя на уровне порядка 1000 км переходит в *плазмосферу* или другие магнитосферные плазменные образования.

Основные параметры ионосферы - концентрация электронов, ионный состав, температура - меняются с высотой сложным образом. Выделены три основных области максимальной концентрации электронов - **D** (80км), **E** (110км), и**F**, которая делится на **F1** (170км) и **F2** (300км). Значения высот указаны в скобках ориентировочно, на самом деле высота слоев, концентрация и другие параметры испытывают значительные вариации, как регулярные так и спорадические. Регулярные вариации в Д и Е области прежде всего определяются уровнем освещенности ионосферы и поэтому суточные и сезонные вариации наиболее значительны. В Области F существенное значение приобретает влияние магнитосферных процессов на движение плазмы.

Так как влияние указанных выше факторов зависит от широты, принято отдельно рассматривать состояние ионосферы в разных широтных поясах; *экваториальная или низкоширотная ионосфера* располагается от 0 до 35o, *среднеширотная* - 35-55o, *субавроральная ионосфера* - примерно от 55 до 65o, дальше до полюса простирается *высокоширотная ионосфера,* которую в свою очередь можно разделить на *ионосферу авроральной зоны и полярной шапки.* Нерегулярные изменения параметров ионосферы, *возмущения*, связаны с воздействием частиц и излучений, генерированных во время солнечных или магнитосферных вспыечных событий. *Внезапные ионосферные возмущения (Sudden Ionospheric Disturbances, SID)* в Е и Д области вызываются всплеском рентгеновского излучения, генерируемого на Солнце во время хромосферных вспышек. Длительность их составляет несколько минут, концентрация электронов может возрастать на порядок в Д и на 50-200% в Е области. Эффекты и сопутствующие явления наблюдаются только в освещенной части ионосферы.

Приход на Землю солнечных космических лучей вызывает ионосферное возмущение известное под именем *Поглощения в полярной шапке ( ППШ или PCA - Polar Cap Absorption).* Названием своим это возмущение обязано тому факту, что солнечные протоны с энергией от 10 МэВ и выше относительно свободно проникают в полярную шапку, а на меньших широтах задерживаются магнитным полем Земли. ППШ относится к Д-области ионосферы, где концентрация электронов может возрастать на два порядка. Продолжительность ППШ определяется длительностью порождающего ее события и может составлять несколько суток.

Развитие суббури в авроральной области вызывает значительные изменения во всей толще ионосферы и сильно меняет условия прохождения радиосигналов вплоть до полного поглощения (т.н. *блэкауты*). В F-области регистрируются как уменьшения, так и увеличения концентрации и значительные вертикальные перемещения, в Е-области появляются т.н. *спорадические слои Es.*  В D - области наблюдается *поглощение аврорального типа*, связанное с высыпанием в ионосферу авроральных электронов с энергией в единицы и десятки кэВ.

Изменчивость ионосферы, особенно существенная в высоких широтах, привлекала большое внимание в связи с важностью устойчивой радиосвязи для народохозяйсвенных и военных целей. В последние десятилетия прикладное значение этих работ уменьшилось в связи с массовым использованием методов радиосвязи с помощью спутников.

**Методы исследования ионосферы.** Исследования ионосферы до появления возможности прямых измерений с помощью ракет, базировались на использовании способности ионосферы поглощать, отражать, рассеивать радиосигналы. Наиболее распространенным был *метод вертикального зондирования (ВЗ),* при котором измеряется время распространения импульса от ионозонда до отражающего слоя и обратно к приемнику сигнала. Используется набор частот в коротковолновом диапазоне (f > 1 мгц), высота точки отражения уменьшается с ростом частоты радиосигнала и измеренная зависимость задержки (высоты) от частоты волны ( *ионограмма)* используется для вычисления высотного профиля электронной концентрации.

К методам, использующим ту же цепочку: **передатчик - ионосфера - приемник,** относятся *наклонное зондирование, возвратно-наклонное зондирование, радиопросвечивание ионосферы сигналами со спутников, метод частичных отражений и измерения прохождения радиосигналов на конкретных радиотрассах.*

К методам, выделившимся в отдельные самостоятельные направления, можно отнести *риометрические исследования, радиолокационные исследования, метод некогерентного рассеяния и исследование распространения сверхдлинных волн (СДВ).*

Активное воздействие на ионосферу и изучение ее реакции используется в *установках по нагреву* ионосферы мощными импульсами радиоизлучения.

Ионосферные методы используются не только для исследования собственно ионосферы и ее параметров, но и для исследования магнитосферных процессов. В частности измерение поглощения космического радиошума с помощью риометров в основном использовалось для исследования пространственно-временных характеристик потоков заряженных частиц магнитосферного и солнечного происхождения, высыпающихся в полярную и авроральную ионосферу.

**Заключение**

1. Пояс стримеров, в котором течет квазистационарный медленный солнечный ветер, на расстояниях *R* > (3-4)*R*o от центра Солнца представляет собой последовательность пар радиальных лучей повышенной яркости. На расстояниях R, меньших высоты шлема стримера, каждый из пары лучей при продвижении к поверхности Солнца огибает шлем по разные его стороны. При этом минимальный угловой диаметр лучей » 2-3њ остается практически постоянным на *R* = (1.2-6.0) *R*o. Направление магнитного поля в лучах каждой пары противоположное.
2. Прогресс в прогнозировании геомагнитных возмущений, вызываемых квазистационарными потоками СВ, в ближайшие годы будет определяться, в первую очередь, успехами фундаментальных исследований динамики магнитных структур с временным разрешением около 1 час. Вопрос о роли такой динамики в формировании спорадических потоков СВ находится в стадии поисковых исследований.
3. Прогресс в прогнозировании геомагнитных возмущений, вызываемых спорадическими потоками СВ, зависит от решения в ближайшем будущем двух проблем:

а) разработка методов регистрации рождения СМЕ на диске Солнца и измерение их характеристик;

б) выяснение природы возникновения *Bz*-компоненты в различных областях спорадических потоков СВ.

**Список литературы**

**1.** Вальдмайер М. Результаты и проблемы исследования Солнца. М.; ИЛ, 1950. 240 с.

**2.** Всехсвятский С.К., Никольский Г.М., Иванчук В.И., Несмеянович А.Т., Пономарев Е.А., Рубо Г.А., Чередниченко В.И. Солнечная корона и корпускулярное излучение в межпланетном пространстве. Киев: изд. Киевского университета, 1965. 216 с.

**3.** Галкин А.И., Куклин Г.В., Пономарев Е.А., Солнечно-земная физика - новая наука. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца, М.: Наука , 1986. вып. 76. С.

**4.** Гусейнов Ш.Ш. и др..// В сб. "Физика солн. акт.". ИЗМИРАН. 1980. С.118; в сб. "Радиоизлучение Солнца". ЛГУ. 1984. С.164; в сб. "Радиоастр. иссл. солн. сист.". Одесса. 1985. С. 15; в сб. "Ионосфера и солнечно-земные связи". Алма-Ата. 1985. С.85; в сб. "Волновые возмущения в ионосфере". Алма-Ата. 1987. С.109; Астрон. цирк. 1982. № 1242; Изв. АН СССР. 1988. № 2. С.134; Солн. данные. 1990. № 7; Цирк. ШАО. 1999. № 96;

**5.** Керимбеков М.Б. и др.// Солн. данные. 1968. № 11; 1976. № 2;. Цирк. ШАО. 1973. № 30, 31; Докл. АН Азерб.Респ. 1990. № 1-2.

**6.** Льоцци М. История физики /. Перевод с итал. Бурштейна Э.Л. М.: Мир, 1970. 463 с.

**7.** Селешников С.И., Астрономия и космонавтика, краткий хронологический справочник, Киев, Наукова думка, 1967. 302 с.

**8.** Эйгенсон М.С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Львов.: Издательство Львовского университета, 1957. 228 с.