

Мир, в котором мы живём



ПОПУЛЯРНЫЙ КУРС АСТРОФИЗИКИ И КОСМОЛОГИИ

Борис Иванович Лучков – выпускник МИФИ 1956 г. По распределению 9 лет работал в ФИАНе им. П.Н.Лебедева, затем перешёл в МИФИ, где работает до сих пор на кафедре микро- и космофизики. Доктор физико-математических наук, профессор. Автор более 150 научных статей. Лауреат Ленинской премии по физике 1970 г. Ведёт учебные курсы по ядерной физике и астрофизике. Научные интересы лежат в области физики элементарных частиц, методики физического эксперимента, астрофизики и космологии. Выступает с научно-популярными статьями в журналах «Наука и жизнь», «Техника – молодёжи» и в газете «Физика». Оптимист и реалист, верит в познаваемость природы и мировой прогресс, в

партиях не состоял. Занимался спортом (футбол, альпинизм, горные лыжи, теннис), сейчас плавно перешёл на посильную физкультуру. Имеет двух сыновей, дочь и семерых внуков. Старшее поколение работает, среднее – учится, младшее – под стол пешком ходит.

№ газеты	Лекция
17	Лекция 1. Наш космический дом: Солнце, планеты, Земля
18	Лекция 2. Энергетика звёзд. Галактики, скопления галактик
19	Лекция 3. Эволюция звёзд – от газовых туманностей до вспышек Сверхновых Контрольная работа № 1 (срок выполнения – до 15 ноября 2005 г.)
20	Лекция 4. Образование элементов (таблица Менделеева)
21	Лекция 5. Иные миры (экзопланеты, проблема SETI) Контрольная работа № 2 (срок выполнения – до 15 декабря 2005 г.)
22	Лекция 6. Космологические модели. Вселенная Большого взрыва
23	Лекция 7. Эхо из прошлого – реликтовое излучение. Стандартная модель Вселенной
24	Лекция 8. Нерешённые проблемы: чёрные дыры, тёмная материя, тёмная энергия, антропный принцип, барионная асимметрия мира
Итоговая работа. В качестве итоговой работы засчитывается разработка занятий по одной из тем, рассматриваемых в рамках данного курса. На основе этой разработки слушателем должен быть проведён урок (уроки). Краткий отчёт о его (их) проведении в виде конспекта мероприятия на трёх листах А4, фотографий с места событий и справка из учебного заведения (акт о внедрении) должны быть отправлены в Педагогический университет не позднее 28 февраля 2006 г.	

Лекция 1. НАШ КОСМИЧЕСКИЙ ДОМ: СОЛНЦЕ, ПЛАНЕТЫ, ЗЕМЛЯ

Солнце разлито поровну.
Вернее, по справедливости,
Вернее, по стольку разлито,
Кто сколько способен взять.

В. Солоухин

По современным представлениям, Солнце и Солнечная система возникли одновременно из сжимающегося

первичного газопылевого облака. С уменьшением кинетической энергии газа необратимо растёт взаимное притяжение, приводящее к образованию сгустков вещества. Центральный сгусток становится звездой, сгустки меньшего размера, сталкиваясь и уплотняясь, формируют планеты, астероиды и другие малые тела. Есть указание, что сжатие облака способствовало вспышка близкой Сверхновой, определившая также химический состав элементов. Солнечная система имеет полный набор атомов и ядер, существующих в природе и образованных в термоядерных реакциях, проходящих в звёзд

дах. Нам повезло – мы живём не около старой звезды первого поколения, состав которой очень беден, а возле молодой звезды, вобравшей в себя всё обилие Периодической системы.

1. Звезда по имени Солнце

- Солнце – одна из ста миллиардов звёзд Галактики под названием *Млечный Путь*. По массе Солнце занимает среднее положение ($M_C = 2 \cdot 10^{33}$ г): есть звёзды в сотни раз более массивные (сверхгиганты) и звёзды в сотни раз меньшей массы (карлики). Полная светимость Солнца равна $3,8 \cdot 10^{33}$ эрг/с, в основном в видимой части спектра. По светимости Солнце тоже «средняк», встречаются звёзды (голубые сверхгиганты) светимостью в 10^5 раз больше и звёзды (коричневые карлики) светимостью в 10^4 раз меньше.

- Солнце – газовый шар (немного сплюснутый с полюсов) радиусом $R_C = 7 \cdot 10^{10}$ см, очень неравномерный по плотности и температуре. Средняя плотность солнечного вещества $1,4$ г/см³, тогда как в центре она доходит до 150 г/см³. Столь же неравномерна и его температура: в центре $T_{\text{ц}} = 15 \cdot 10^6$ К, на поверхности (фотосфере) $T_{\text{п}} = 5800$ К. На самом деле никакой поверхности у Солнца нет. Фотосферой называется сравнительно узкий (500 км) слой, в пределах которого фотоны рассеиваются последний раз, после чего проходят остаточный газ практически без взаимодействия. Рассеяние на фотосфере создаёт для внешнего наблюдателя видимость солнечного края. Состав Солнца, как у большинства звёзд: 73% водорода, 25% гелия, 2% углерода, азота и кислорода (по массе). Доля более тяжёлых элементов меньше 0,1%.

- Солнце – одиночная звезда, что встречается редко. Большинство звёзд Галактики входит в состав двойных и кратных систем, вплоть до звёздных скоплений, насчитывающих тысячи звёзд. Однако есть предположение, что у Солнца имеется компаньон, образующий с ним *широкую* (несколько парсеков) *парную систему*. Согласно гипотезе, звезда-компаньон – красный карлик (таких звёзд много вокруг Солнца), ей даже дано имя – Немзида. Период обращения пары Солнце–Немзида 25 млн лет и, как считают, сейчас компоненты находятся на большом удалении друг от друга. Через 10 млн лет Немзида приблизится, и её можно будет увидеть как движущийся объект на фоне неподвижных звёзд (сейчас её смещение незаметно). Гипотеза Немзиды и вычисленный период обращения не случайны. Изучение ударных кратеров на планетах и спутниках показало, что именно с такой периодичностью происходило в Солнечной системе усиление кометных роёв в результате возмущения близко проходящей звездой.

- Солнце расположено далеко от центра Галактики (что надо признать большой удачей), на расстоянии 8 кпк, и почти в центре диска по высоте. Оно движется в Галактике по орбите вокруг её центра со скоростью 250 км/с, совершая полный оборот за 200 млн лет.

Итак, ни положением, ни своими свойствами Сол-

нце не выделено – рядовая звезда Галактики. Но особенность всё же есть. Эта звезда очень удобна для возникновения жизни на её третьей планете – Земле: звезда не слишком яркая и не очень слабая, не входит в кратные системы с их опасной переменностью, расположена в месте, где плотность звёзд мала, столкновения крайне редки, радиационный фон не велик. У неё под боком нет опасных соседей, таких, как пульсары, взрывающиеся и вспыхивающие звёзды. Её система планет весьма спокойная. Тяжёлые планеты (Юпитер, Сатурн и др.) находятся далеко, их воздействие на Солнце ничтожно. Если бы они располагались на орбитах Меркурия и Венеры, на Солнце действовали бы большие приливные силы, и оно не было бы так спокойно. Его активность была бы намного выше, что вряд ли способствовало бы развитию жизни. Благодаря указанным особенностям Солнечная система являет собой прекрасное, возможно уникальное, место для существования и неспешной эволюции жизни.

Будучи спокойной звездой, Солнце проявляет и некоторую переменность, называемую *солнечной активностью*. Не так уж тих и покладист её нрав.

2. Солнечная активность

В конце 1990-х гг. начался очередной, 23-й по счёту, цикл солнечной активности. На фотосфере стало появляться всё больше тёмных пятен и активных областей, в которых происходят интересные и зачастую таинственные явления – от подъёма в верхнюю атмосферу (хромосферу) больших масс вещества до появления солнечных вспышек, эквивалентных по энергии взрыву миллионов атомных бомб.

Тёмные пятна и активные области. В 1610 г. Г. Галилей впервые посмотрел на небо в телескоп. Он не был, строго говоря, изобретателем этого прибора. Подзорную трубу изобрёл один голландский офицер для наблюдения за вражеским флотом. Галилей, видоизменив прибор, применил его для наблюдения за небесными объектами (находящимися на бесконечном расстоянии). Так появился главный инструмент наблюдательной астрономии. Не все учёные приняли новшество. Великий И. Кеплер долго не мог признать, что «стекляшка» объективно отражает реальность, и продолжал изучать небесные тела невооружённым глазом.

Первые же телескопные наблюдения привели к открытиям: были увидены спутники Юпитера, горы на Луне, фазы Венеры. На солнечном диске Галилей заметил тёмные пятна. Сохранилось, правда, более раннее свидетельство, что, глядя на Солнце сквозь дым, люди наблюдали на «божественном лице» пятна, которые, по их убеждению, не предвещали ничего хорошего. В наше время мы воспринимаем солнечные пятна как одно из проявлений деятельности конвективной зоны Солнца, в которой горячая плазма вырывается на фотосферу бурными потоками. При своём движении плазма порождает

магнитные поля, которые, в свою очередь, оказывают на неё сильное действие. Тёмные пятна возникают в местах, где на поверхность выходят магнитные трубки. Магнитное поле препятствует теплообмену, и пятна на 1500 К оказываются холоднее фотосферы, потому и кажутся тёмными. Пятна недолговечны, время их жизни – часы и дни.

Новый цикл солнечной активности начинается с появления тёмных пятен на средних широтах ($\pm 30^\circ$), при этом пятна старого цикла ещё видны вблизи экватора. Количество пятен растёт, появляются пары с разной полярностью магнитного поля, они дрейфуют к экватору, собираясь в группы (активные области, *active regions*, *AR*). Достигнув максимума, их количество начинает убывать. Цикл завершается, когда на средних широтах появляются молодые пятна нового цикла. Солнечную активность принято характеризовать числами Вольфа, регулярно публикуемыми обсерваторией в Цюрихе (главном мировом центре наблюдения Солнца): $W = 10g + f$, где g – суммарное число групп пятен и не образующих группы одиночных пятен, f – полное число пятен. Анализ солнечных данных стал проводиться с 1749 г., тогда же начался отсчёт циклов солнечной активности. Длительность циклов сильно варьирует (от 7 до 17 лет), среднее время между двумя минимумами составляет ~11 лет.

Внешним проявлением солнечной активности являются также фотосферные факелы – светлые волокнистые образования, факельные площадки размером до 15 тыс км, простирающиеся от фотосферы до верхней хромосферы, и протуберанцы – гигантские дуги, поднимаемые в корону и удерживаемые длительное время магнитным полем. В короне, верхней разреженной части солнечной атмосферы, появляются корональные конденсации (температура до $8 \cdot 10^6$ К), более яркие, чем окружающая корона ($T_k = 2 \cdot 10^6$ К), и корональные дыры ($T < T_k$).

Солнечные циклы. Так Солнце ведёт себя в течение многих лет с хорошо известной периодичностью (рис. 1), среднее время которой 10,8 года. В минимуме пятен мало (не более десятка) и мощных вспышек нет, в максимуме пятна исчисляются сотнями, лик светила напоминает лицо человека, поражённого оспой, а в группах пятен часто и непредсказуемо происходят вспышки. Активность Солнца связана с поведением горячей плазмы в конвективной зоне, где солнечное вещество буквально «кипит», перенося на поверхность энергию, выделенную в ядерных реакциях в центральной зоне. Восходящие из глубины бурные потоки водородно-гелиевой плазмы, увлекаемые ещё и вращением Солнца (период на экваторе 25 дней), порождают общее магнитное поле и локальные поля групп пятен, которые часто превышают общее поле в тысячи раз. Генерация магнитных полей описывается динамо-механизмом, предложенным американским физиком Е.Паркером ещё в 1950-х гг. Согласно теории, 11 лет – это среднее

время реверса общего магнитного поля Солнца, а удвоенный (22 года) интервал – период возврата вектора магнитной напряжённости в исходное состояние.

Не всё ясно в теории динамо, и многие вопросы солнечной активности остаются без ответа. Почему цикл длится 11 лет и наблюдается его большой разброс? Как объяснить нагрев короны, расположенной над более холодной фотосферой?

Солнце эпохи абсолютизма. Недавно стали известны результаты изучения архивов Парижской обсерватории, относящихся к правлению Людовика XIV. В обсерватории, созданной указом короля, в течение многих лет проводились регулярные наблюдения светила. Король-Солнце был к Солнцу явно равнодушен, и это скромное увлечение позволило в наши дни обнаружить одну из интереснейших загадок науки.

Как оказалось, во время абсолютной монархии Солнце было более совершенным: в течение 70 лет (1645–1715) на нём практически не было пятен! 11-летний цикл активности был «отменён» (см. рис. 1). За это время должно было пройти несколько полных циклов, в максимуме которых число пятен доходило бы до сотен, извергались бы потоки плазмы и происходили оптические вспышки. Но в конце XVII в. – десятилетия сплошного «штиля» без вспышек и потрясений, будто Солнце уснуло и стало бесстрастным, как Луна. Наблюдатели отмечали, что погода в Европе тогда была необычно холодной, с суровыми зимами, когда льдом покрывались не только реки, озёра, но и Северное море, подогреваемое Гольфстримом. Заметили и другую аномалию: почти исчезли полярные сияния.

Маундеровский минимум. Спад солнечной активности получил название *маундеровского минимума* – по имени немецкого астрофизика Е.Маундера, исследовавшего в конце XIX в. это удивительное явление. Солнечный «застой» действительно

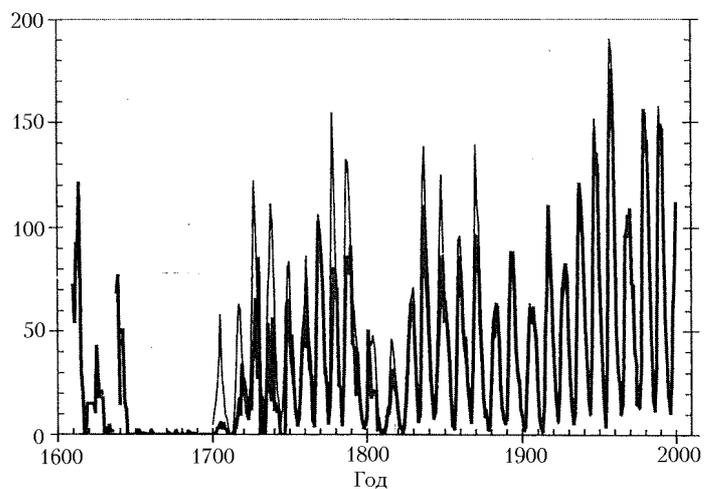


Рис. 1. Циклы солнечной активности

но имел место, но всё же оставались сомнения в его истинных размерах, ведь Солнцу в те далёкие времена доверяли и не держали постоянно «под колпаком». Тут-то и понадобились свидетельства королевского астронома, который, выполняя волю монарха, 30 лет изо дня в день вёл солнечный дневник. Минимум Маундера оказался ещё более глубоким и быстрым, чем представлялся ранее. Всего за пару лет хорошо отлаженный механизм солнечных циклов сменился полным «застоем» и так же неожиданно вышел из «спячки». Прямо оживший замок Спящей красавицы – пажы забегали, соловьи запели... И ещё одна деталь: наряду с наблюдением тёмных пятен астроном регулярно снимал мерку с Солнца, измеряя его видимый диаметр. Хотя точность была невысокой, установлено, что Солнце в «застойное» время было больше – на 0,0001 своего диаметра. Представляется такая картина: силовые линии новых магнитных потоков, выходящих из солнечных глубин, сдерживались какими-то силами под фотосферой, но упорно рвались наружу.

Смена динамо-механизма. Во время маундеровского минимума на Солнце произошла смена механизма генерации магнитного поля. Полная теория динамо-механизма, которая объяснила бы такую перемену, пока не создана. Какие поля находятся под фотосферой, каковы их величина и конфигурация – точно не известно. Приходится больше полагаться на наблюдения и их анализ.

«Археологическое» исследование вкупе с данными по солнечной активности позволило глубже понять ритмику Солнца. Кроме известного 11-летнего периода, выявился ещё один – вековой. С периодичностью ~100 лет на Солнце происходят изменения амплитуды циклов (см. рис. 1). Солнце, как бы потрудившись век, пытается впасть в летаргический сон. Однажды, в маундеровском минимуме, ему это удалось. В конце XVIII в. оно сделало новую попытку, заметно сбавив высоту циклов (*наполеоновский минимум*). Следующий спад, в конце XIX в., был еле заметен. Что произойдёт сейчас, в начале XXI в.? Не предпримет ли Солнце новую попытку «перестроиться»? Если это произойдёт, мы станем свидетелями крупного космического события, достаточно мирного (раньше-то его успешно пережили!), хотя несколько неудобного (долгие холодные зимы). Может быть, это вдохновит учёных, и они смогут, наконец, ответить на вопрос: что всё-таки происходит с нашей звездой, когда на ней исчезают пятна?

Маундеровский минимум не уникален. Более далёкие «раскопки» показывают, что ещё раньше были аналогичные минимумы, – Шперера (1416–1534 гг.) и Вольфа (1282–1342 гг.). Есть сведения о ещё более древних, уходящих в тьму веков, «провалах» солнечной активности. Похожие явления наблюдаются у вспыхивающих звёзд, мощность вспышек которых намного превышает солнечную. Наблюдения таких звёзд расширяют возможности исследования явления, но не решают проблему солнечной активности.

Космические глаза астрономов. Вот почему учёные встретили 23-й цикл (1996–2005 гг.) с большими ожиданиями, готовые к подробным наблюдениям за светилом с Земли и из космоса. Космические аппараты более предпочтительны, они позволяют измерять весь спектр солнечного излучения (напомним, что значительная часть УФ-, рентгеновского и гамма-излучений «срезается» земной атмосферой). Уже несколько лет наблюдают за Солнцем орбитальные телескопы *HINATORU* и *УОНКОН* (Япония) в диапазонах рентгеновского и УФ-излучений, проводя исследования короны и солнечной активности. Российско-украинский космический аппарат *КОРОНАС-Ф*, на борту которого 14 уникальных детекторов, измеряет состав и интенсивность солнечного ветра, поток солнечных космических лучей, спектр колебаний солнечной поверхности (гелиосейсмология).

Особое место заняли солнечные космические аппараты *TRACE* и *SOHO* (обе *NASA, ESA*) (*исследователь переходной области и короны*) нацелен на среднюю (переходную) область солнечной атмосферы, пожалуй, самую малоизученную. Через неё осуществляется связь фотосферы с короной, находящихся в разных тепловых режимах. *SOHO* (*Solar and Heliospheric Observatory, солнечная и гелиосферная обсерватория*) имеет более широкий охват наблюдений – от основания фотосферы, через атмосферу и корону до дальних районов гелиосферы, где «дует» солнечный ветер – высокоскоростной поток плазмы.

Новые результаты. Наблюдения в 23-м цикле принесли новые открытия. *SOHO* впервые зарегистрировал вихри и струйные течения плазмы в подфотосферной области, сумел проследить зарождение солнечного ветра, нашёл его истоки. Ранее считалось, что ветер срывается с горячей короны, являясь как бы её продолжением. Это оказалось неверным – истоки гораздо глубже. Ветер выходит из пор фотосферы, образованных конвекцией и магнитными полями, «прорастая, как трава сквозь щели мостовой», по образному выражению наблюдателей. Вначале сравнительно медленный (~10 км/с) солнечный ветер, пройдя корону, разгоняется до ураганных скоростей (400 км/с).

Главным открытием *SOHO* стало обнаружение сети магнитных силовых линий, связывающих фотосферу с короной, – той самой ожидаемой связи между удалёнными областями солнечной атмосферы. Осенью 1997 г. приборы впервые увидели эту сеть переплетающихся магнитных полей – пышный «магнитный ковёр» толщиной 2000 км, в котором постоянно происходят пересоединения силовых линий, сопровождающиеся вспышками «коротких замыканий», образованием атмосферных токов и выделением тепла. Открытие поддержал вышедший на орбиту *TRACE*. Ведя непрерывные наблюдения, он получил чёткие свидетельства пересоединений, когда сталкивающиеся магнитные петли перезамыкались, принимая более простую конфигурацию (рис. 2). В результате энергия магнитного поля переходила в теп



Рис. 2. Ковёр магнитных силовых линий (снимок аппарата TRACE в видимых лучах)

ловой нагрев плазмы. Непрерывная череда мини-вспышек, очень быстрых, почти незаметных, даёт энергию нагрева всей короны. Процесс, который солнечная физика искала с тех пор, как была открыта высокотемпературная корона, наконец найден. Имя ему – постоянная аннигиляция локальных магнитных полей в верхней части солнечной атмосферы.

Важный результат получен по корональным массовым выбросам (CME, coronal mass ejection), известным давно, но только

сейчас, благодаря непрерывным наблюдениям, признанных как самое важное звено солнечно-земных связей. CME представляют собой гигантские облака намагниченной плазмы (массой 1–10 млрд т), движущиеся со скоростью более 1000 км/с (кинетическая энергия порядка 10^{32} эрг). Особенно хорошо они заметны на солнечном лимбе в виде

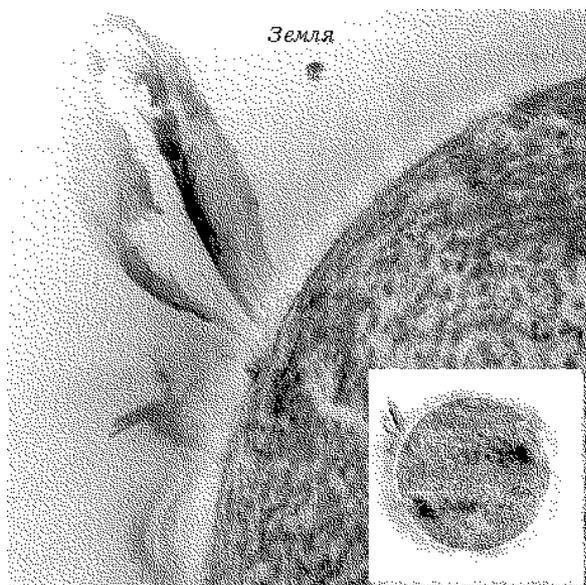


Рис. 3. Фото солнечной короны с корональным выбросом (Solar Maximum Mission, NASA). Для сравнения

гигантских протуберанцев, поднимающихся в корону (рис. 3).

Станция SOHO засняла более 1200 CME. Каждое событие, выполненное в технике анимационного кино, показывает, как растёт «пузырь», преодолевая притяжение родительницы, достигает размера в пол-радиуса Солнца, отрывается и стремительно уносится в межпланетное пространство.

Земное эхо солнечных бурь. Так окрестил советский геофизик А.Л.Чижевский влияние солнечной ак-

тивности на земную жизнь. Не имея зорких аппаратов, какими располагает наука в наши дни, он провёл статистические исследования земных откликов (погоды, флоры, фауны) в разных фазах солнечного цикла и убедительно показал, что такое влияние действительно существует. На примере многочисленных временных совпадений погодных факторов, урожайности, распространения эпидемий с параметрами солнечной активности была показана наша зависимость от состояния светила.

Менее определено влияние Солнца на земную погоду. Так как солнечная постоянная одинакова (с точностью до 0,1%) во всех фазах цикла, фактором, влияющим на погоду, следует считать поток жёсткого излучения (УФ, рентген), интенсивность которого от минимума к максимуму может возрасти во много раз. Непонятной остаётся передача воздействия от верхних слоёв атмосферы (40–100 км), где поглощается жёсткое излучение, в тропосферу, где разыгрывается наша погода.

3. Солнечные вспышки

Магнитные поля на Солнце – это выпущенный на свободу «джинн». Закручиваясь и переплетаясь из-за вращения Солнца, они ведут себя непредсказуемо и порой весьма бурно. В местах скопления тёмных пятен (области AR) конфигурация поля бывает очень сложной: в тесном соседстве оказываются разнонаправленные силовые линии. Если расположение пятен быстро меняется (что происходит, когда на поверхность выносятся новые магнитные потоки), и поле может внезапно, скачком, измениться. Происходит пересоединение силовых линий, и огромный запас потенциальной энергии магнитного поля переходит в кинетическую энергию разлетающейся плазмы. Это явление – солнечная вспышка – наблюдается как взрыв, в результате которого на десятки минут яркость AR многократно возрастает.

Вспышки – одно из самых ярких проявление солнечной активности – давно привлекали внимание не только астрономов, но и геофизиков, космонавтов, радиоинженеров, – тех, кто сталкивался с ними как с мощным и опасным фактором. Вспышки нарушают радиосвязь, вызывают магнитные бури и выбрасывают в космос большие радиационные потоки. Откуда черпается энергия вспышки? Можно ли предсказать момент её появления, чтобы быть готовым к последствиям?

Хромосферные вспышки. Серьёзные наблюдения начались с 1859 г., когда два астронома, в Англии и Индии, одновременно зарегистрировали солнечную вспышку столь мощную, что её увидели в «белом свете», т.е. без светофильтров. Энергия вспышки составляла 10^{25} Дж. Чаще встречаются слабые вспышки ($\sim 10^{22}$ Дж). Их можно заметить только в линиях (обычно в линии водорода H_{α}), что делает вспышку более контрастной на фоне фотосферы. Существует патрульная служба вспышек, охватывающая сеть обсерваторий, ведущих непрерывные наблюдения Солнца.

О солнечных вспышках написано много. Казалось, их изучили вдоль и поперёк. В каталогах приведены баллы вспышек, координаты, интенсивности потоков. Огромный объём данных способствовал прояснению картины вспышки, но до сих пор её природа – источник и процесс выделения энергии – остаётся нераскрытой. Причина в том, что оптическое и мягкое рентгеновское излучение вспышки, которые исследовали до сих пор, – вторичны. Они лишь тепловой «отклик» солнечной атмосферы на выделяющуюся энергию. Вспышка «запускается» пересоединением силовых линий и резким изменением магнитного поля. Переменное магнитное поле порождает электрическое, которое ускоряет заряженные частицы. В хромосфере и короне, где условия ускорения наиболее удобны (из-за малой плотности газа), возникают пучки частиц высокой энергии – протонов и электронов, взаимодействующих с солнечной атмосферой (рис. 4) и приводящих к появлению сопутствующего гамма-излучения. Гамма-излучение – неизбежный спутник энергичных заряженных частиц. Чтобы найти ключ к тайне вспышки, надо исследовать её гамма-излучение.

Гамма-вспышки. В максимуме 22-го цикла

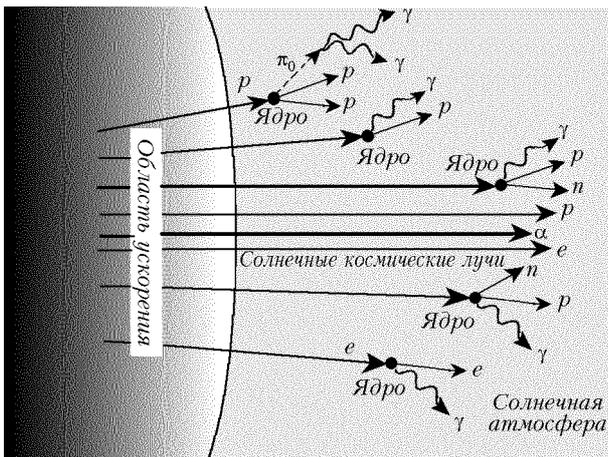


Рис. 4. Схема взаимодействия ускоренных частиц в солнечной атмосфере

(1991 г.) такие исследования были проведены двумя орбитальными обсерваториями: советско-французской обсерваторией ГАММА и американской GRO-COMPTON. Были зарегистрированы вспышечные потоки высокоэнергичных гамма-квантов ($E > 30$ МэВ) во время семи мощных солнечных вспышек класса $3B/X$ ($3B$ – самые яркие оптические вспышки; X – рентгеновское излучение). Сопоставление результатов измерений гамма- и оптического излучений привели к обнаружению новых, ранее не проявлявшихся характеристик вспышки. Были определены энергетические спектры и угловая направленность потоков ускоренных частиц. Интенсивности этих потоков оказались в 10–100 раз больше для электронов, а удержание в магнитных ловушках – лучше для протонов (часы), в то время как электроны быстро теряют энергию из-за синхротронных потерь. Точно установлено одновременное (до 1 с) ускорение протонов и электронов в начале вспышки. Исследование гамма-вспышек только началось. Сейчас за ними

следит орбитальная станция *RHESSI* (NASA).

4. Солнечная система

Блуждающие звёзды, позднее названные планетами, были известны ещё античным звездочётам (жрецам). В телескопы планеты видны как протяжённые тела (в отличие от точечных звёзд). Ко времени расцвета наблюдений Солнечная система предстала семью планетами. Восьмая (Нептун) и девятая (Плутон) были открыты «на острие пера» в XIX и XX вв. по едва заметному отклонению орбит их «соседей» французом У.Левьерье и американцем К.Томбо, после чего точные наблюдения в указанных местах позволили обнаружить их.

Планеты делятся на две чётко выделенные группы: внутренние – земного типа (Меркурий, Венера, Земля, Марс), небольшие по размеру, плотные ($\rho = 5-6$ г/см³) тела, и внешние – планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), размеры которых в 10–30 раз меньше солнечного, а малая плотность ($\rho = 0,7-1,6$ г/см³) указывает на существенный вклад газов и жидкостей. Тепловые режимы двух групп очень разнятся: высокие и умеренные температуры на внутренних планетах, криогенные – на внешних. Особняком стоят несостоявшаяся планета за орбитой Марса, образованию которой помешало разрушительное тяготение Юпитера, так что вместо неё возник пояс астероидов, и Плутон, самая загадочная, не похожая ни на какую планету нашего мира.

Многое в Солнечной системе остаётся непонятным даже сейчас, когда её бороздят космические корабли с прецизионными аппаратами. Если на Солнце приходится 99,87% всей массы системы, то момент количества движения в основном (98%) обеспечивают планеты. Существующие модели не могут объяснить передачу момента от центральной звезды её спутникам. Непонятно, почему при общем подчинении вращения тел вращению Солнца (как орбитального, так и осевого), есть тройка «отщепенцев» (Венера, Уран, Плутон), вращение которых противоположно солнечному. И уж совсем полный произвол, разобраться в котором, кажется, невозможно, царит в атмосферах, магнитных полях, внутренней активности этой разноликой системы.

Что касается внешнего вида планет и спутников, то здесь есть определённое согласие. Два главных фактора определяют их лики – столкновения комет и мелких фрагментов, отмеченные тысячами ударных кратеров, и внутренняя активность недр, управляющая извержениями вулканов и сейсмической активностью. В меньшей степени сказывается наличие атмосфер – как защитного фактора от внешних воздействий (Венера, Земля), так и маскирующей завесы, мешающей исследованию объекта (планеты-гиганты).

Самый большой ударный кратер – у Луны, на её обратной стороне (диаметр 2500 км, глубина 12 км). Самые адские вулканы – на спутнике Юпитера Ио: более ста постоянно действующих, покрывающих поверхность толстым слоем пепла (трагедия Помпеи – детский лепет), выбрасывающих в космическое пространство облака газов, так что за Ио тянется непрерывный газово-ионный шлейф. Самые большие горы – на крошке Мар-

се: мёртвый вулкан Олимп высотой в три наших Эвереста! На роль самых непонятных спутников претендуют два: второй галилеев спутник Юпитера Европа, где, по-видимому, существует тёплый подлёдный океан, покрывающий всю поверхность, и спутник Сатурна Титан с его неожиданно богатой кислородом атмосферой. Напомним, что содержание кислорода в земной атмосфере поддерживается фотосинтезом растений. Каково происхождение кислорода глубоко криогенной атмосферы далёкого Титана?

Периферия Солнечной системы. Большой интерес вызывают не только исследования Солнца и планет, но и далёких границ Солнечной системы.

Девятая планета – Плутон – находится на радиусе 39,5 а.е., и нет никакой уверенности, что она «крайняя» и за её орбитой пустота. Скорее всего это лишь временная граница Солнечной системы, за которой простирается неисследованное «дикое поле», приоткрывающее по мере проникновения в него космических аппаратов свою завесу. Орбиту Плутона пересекли четыре космических корабля – два «Пионера» и два «Вояджера» (США, NASA) – и со скоростью 10–20 км/с продолжают углубляться в «поле». Со всеми, кроме «уснувшего» «Пионера-11», поддерживается связь. Их радиосигналы (сообщения о солнечном ветре, радиации и своём состоянии) на Землю идут 8–11 ч, так далеки они от нас. На 2002 г. их удаление от Солнца было таково: «Вояджер-1» – 82 а.е., «Пионер-10» – 78 а.е., «Вояджер-2» – 64 а.е.

Плутон, дальний родственник Земли, оказался несколько странным. Это самая лёгкая из планет, её масса в 500 раз меньше земной. В то время как остальные планеты движутся по почти круговым орбитам, орбита Плутона имеет заметный эксцентриситет (0,25). Наклон орбиты к эклиптике (плоскости солнечного экватора) намного больше, чем у других планет (17°). Указанные особенности списывали на удалённость планеты: мол, что поделаешь, она такая далёкая. Сейчас, когда средства наблюдения стали более точными, к странностям Плутона добавились новые, которые показали, что всё не так просто. За орбитой Нептуна было открыто много объектов (типа астероидов), совокупность которых получила название *пояса Койпера*. Среди них встречаются и тела, испускающие газы и пыль, похожие на кометы. Физическая природа объектов плохо изучена (по причине слабой яркости), но можно утверждать, что их очень много. Уже сейчас насчитывается более 300, а по косвенным оценкам – многие тысячи. Пояс Койпера – вторая совокупность малых планет в Солнечной системе, ещё более многочисленная, чем известный пояс астероидов между Марсом и Юпитером. Плутон и его спутник Харон – самые крупные объекты пояса Койпера, но по остальным свойствам ничем не отличаются от них.

Установлено, что отношение орбитальных периодов Нептуна и Плутона равно 2 : 3. Гравитационное воздействие массивного Нептуна на крошку Плутона, сильное само по себе, резонансно возрастает при целочисленном отношении периодов. Можно заключить, что Плутон – это осколок первичного протопланетного вещества, захваченный и удерживаемый Нептуном, его «кавказский пленник». И как оказалось, не один: с тем же резонансным отношением орбитальных периодов найдено ещё несколько малых тел, составивших группу так называемых *плутино*. Вновь обнаруженные особенности не могут не повлиять на статус Плутона как равноправной планеты. Скорее всего он таковой не является. Но не так важно, как его называть. Важнее другое: то, что считалось краем Солнечной системы, – вовсе не край. Современная техника позволяет исследовать отдалённые объекты, о существовании которых раньше не подозревали. По косвенным данным, на ещё большем радиусе может находиться планета массой порядка Юпитера (!) и периодом обращения миллионы лет. Периферия Солнечной системы таит немало сюрпризов.

Солнечная окраина – не только далёкие планеты и астероиды, но и солнечный ветер, не утихающий до расстояния 80 а.е., и Облако Оорта – сферический резервуар комет, заполняющих пространство 10^3 – 10^5 а.е. от Солнца. Фактически на таких расстояниях, равных половине дистанции до ближайших звёзд, и должно закончиться «солнечное царство». Дальше простирается межзвёздная среда, область приложения совсем других сил. Таким образом, настоящие наши знания касаются лишь очень малой части (по объёму – одной миллиардной) той области, которую называют *гелиосферой*. Можно представить, сколько открытий ждёт первопроходцев этой космической Ойкумены.

Литература

Лушков Б.И. Гамма-диагностика солнечных вспышек. – Соросовский образовательный журнал, 2000. Т. 6, № 9.

Пудовкин М.И. Солнечный ветер: Энциклопедия «Современное естествознание». Т. 4. – 2000.

Сомов Б.В. Физика солнечных вспышек. – Земля и Вселенная, 2005, № 1.

Шевченко В.В. Солнечная система: Энциклопедия «Современное естествознание». Т. 4. – 2000.