

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

# Школа современной астрофизики — 2009

В.С. Бескин

PACS numbers: 01.10.Fv, 96.30.-t, 96.60.-j

DOI: 10.3367/UFNr.0179.200911m.1153

Летом 2009 г. на базе Пушкинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра ФИАН прошла уже пятая ежегодная Школа современной астрофизики, посвященная в этом году физике Солнца и солнечной системы. Тем самым, была продолжена долгосрочная программа всестороннего охвата наиболее актуальных областей физики космоса и астрофизики. Как и предыдущие, Школа прежде всего была нацелена на повышение квалификации аспирантов и молодых научных сотрудников. Напомним, что организаторами Школы выступили Астрокосмический центр и Отделение теоретической физики им. И.Е. Тамма ФИАН, Научный совет РАН по Астрономии, а также Научно-образовательный центр "Фундаментальные частицы и астрофизика" МФТИ и Учебно-научный комплекс ФИАН. В Программный комитет, возглавляемый академиком В.Л. Гинзбургом, вошли Д.А. Варшалавич, В.В. Железняков, Л.М. Зеленый, А.В. Гуревич, Н.С. Кардашев, В.В. Кочаровский, А.М. Черепашук, А.О. Барвинский, В.С. Бескин, В.А. Догель, В.Н. Лукаш, Д.И. Нагирнер, Д.Г. Яковлев.

Скажем прямо, проведение пятой Школы было бы невозможно без поддержки Федерального агентства по науке и инновациям. В частности, лишь благодаря этой поддержке удалось пригласить несколько участников из дальних городов Сибири: Иркутска, Красноярска, Новосибирска. Заметный вклад внесли и постоянные спонсоры — Российский фонд фундаментальных исследований, Фонд поддержки фундаментальной физики и Фонд Дмитрия Зимина "Династия", Учебно-научный комплекс ФИАН.

В течение двух недель для сорока человек из шестнадцати научных центров России были прочитаны фундаментальные курсы:

- В.Д. Кузнецов (ИЗМИРАН) "Физика Солнца";
- О.Л. Вайсберг (ИКИ) "Солнечный ветер и гелиосфера";
- Р.Р. Рафиков (Принстон) "Динамика малых тел Солнечной системы";

- Л.В. Ксанфомалити (ИКИ) "Планетные системы Солнца и других звёзд"

и, что особенно важно, впервые проведены семинарские занятия, контрольные работы и опросы (В.С. Бескин, Ю.Д. Жугжда, Р.Р. Рафиков, И.В. Чашей). Это позволило, с одной стороны, премировать наиболее отличившихся слушателей, а с другой стороны, высветить недостатки в фундаментальной подготовке молодых исследователей.

В лекциях директора ИЗМИРАНа В.Д. Кузнецова и семинарских занятиях Ю.Д. Жугжды по физике Солнца были последовательно изложены вопросы образования Солнца, как звёзды, включая последние стадии с эволюцией Солнца в переменную звезду, красный гигант и белый карлик. Рассмотрены вопросы внутреннего строения Солнца. По данным гелиосейсмологии дано подробное описание картины течений внутри Солнца, ответственных за действие солнечного динамо и генерацию магнитного поля, одиннадцатилетнего солнечного цикла и его основных характеристик (наблюдений чисел Вольфа, закон Шперера, закон Хейла). Рассмотрены Маундеровский минимум и другие аномальные периоды в деятельности Солнца.

Далее, приведён обзор магнитных полей на Солнце и их классификация — общего поля Солнца, локальных и крупномасштабных полей; магнитоплазменных образований. Приведены уравнения солнечной магнитной гидродинамики и рассмотрены вопросы МГД равновесия и устойчивости магнитных конфигураций в атмосфере Солнца. Дано описание наиболее мощных активных явлений в атмосфере Солнца — вспышек, корональных выбросов массы и эруптивных протуберанцев. Рассмотрены наблюдения и модели этих явлений, теория токовых слоёв и магнитного пересоединения, ускорение частиц, вспыхивающее излучение и вторичные эффекты вспышек, их воздействие на Землю.

Наконец, рассмотрены основные методы и приборы для исследований Солнца — солнечная спектроскопия, эффекты Зеемана, Штарка и Доплера; уширение спектральных линий, магнитограммы и реконструкция магнитных полей в короне, наземные солнечные инструменты — оптические и радиотелескопы, коронографы, радиоспектрографы; методы и приборы локальных измерений и дистанционных наблюдений Солнца в космосе. Дан обзор последних достижений в исследованиях Солнца с помощью космических аппаратов, современного состояния и перспективных проектов в области

**В.С.Бескин.** Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп. 53, 119991 Москва, Российская Федерация  
Тел./Факс (499) 135-85-33  
E-mail: beskin@lpi.ru

Статья поступила 30 сентября 2009 г.

космических исследований Солнца [1]. Лекции сопровождались многочисленными иллюстрациями и фильмами, полученными на космических аппаратах Yohkoh, SOHO, TRACE, КОРОНАС-Ф, ULYSSES, STEREO, Hinode, RHESSI, КОРОНАС-ФОТОН.

Лекции О.Л. Вайсберга были посвящены солнечно-земным связям. Солнечная активность определяется 11-летним циклом изменений магнитных полей, в особенности, изменениями числа групп солнечных пятен со сложной структурой магнитных полей на поверхности, в хромосфере и в солнечной короне. Энергия этих магнитных полей спонтанно преобразуется в энергию плазмы, жесткого электромагнитного излучения и ускоренных заряженных частиц. Характеристики истекающего из короны солнечного ветра также определяются структурой магнитных полей в солнечной короне. При перестройке магнитного поля из солнечной короны часто возникают выбросы коронального вещества с сильным вмороженным магнитным полем. При взаимодействии солнечного ветра и корональных выбросов происходит передача энергии, импульса и массы от обтекающей магнитосферы потока в магнитосферу. Наибольшее влияние на магнитосферу оказывает вмороженное в плазму магнитное поле южного направления благодаря пересоединению магнитных полей обтекающего потока и направленного на север магнитного поля магнитосферы на ее дневной стороне. При этом происходит перестройка магнитосферы с возникновением магнитных бурь, полярных сияний, ускорения заряженных частиц в радиационных поясах, ионосферных возмущений и других активных явлений в околоземном пространстве. Эти активные события воздействуют на сложные технические системы на Земле. Все это составляет предмет активных научных исследований и службы предсказания космической погоды.

Эти лекции были дополнены семинарскими занятиями И.В. Чашея (ФИАН). Прежде всего, на них обсуждались экспериментальные данные об основных параметрах солнечного ветра, его глобальной структуре и динамике в цикле солнечной активности. При рассмотрении существующих теоретических моделей солнечного ветра основное внимание было уделено корональным источникам потоков разного типа, энергетическому балансу солнечной короны, взаимосвязи характеристик солнечной короны и солнечного ветра. Изложены наблюдательные данные о турбулентности солнечного ветра, ее энергетических спектрах и характерных масштабах, полученные как с помощью локальных измерений на космических аппаратах, так и в экспериментах радиопросвечивания. Применительно к плазме солнечного ветра рассмотрены магнитогидродинамические волны, а также нелинейные процессы, приводящие к формированию квазистационарных энергетических спектров турбулентности. Обсуждались возможные причины различия режимов турбулентности в областях ускорения и сформировавшегося потока. Описаны основные представления о гелиосферном интерфейсе, возникающем при взаимодействии солнечного ветра с локальной межзвездной средой, рассмотрены влияние подхваченных ионов на термодинамику внешнего солнечного ветра и механизмы формирования надтеплого хвоста функции распределения ионов.

Лекции Р.Р. Рафикова были посвящены последовательному изложению основ динамики малых тел

Солнечной системы. Непрерывное совершенствование наблюдательных возможностей наземной и орбитальной астрономии, а также запуски космических аппаратов к внешним планетам-гигантам привели к революции в нашем понимании орбитальной архитектуры и динамики Солнечной системы. За последние несколько десятков лет были открыты пояс Койпера, многочисленные объекты между орбитами Юпитера и Нептуна (так называемые центавры), троянские спутники Нептуна, семейства малых внешних спутников планет-гигантов. Космические миссии к внешним планетам Солнечной системы позволили нам изучить в беспрецедентных деталях сложные динамические взаимодействия между спутниками планет и их кольцами. В то же время развитие аналитических методов и компьютерной техники стимулировало углублённое понимание сложных динамических явлений, характерных для систем малых тел — резонансной структуры в поясе Койпера, хаоса в поясе астероидов, эволюции кометного облака Оорта. Дальнейшее развитие динамической теории Солнечной системы невозможно без хорошего понимания основ небесной механики и методов теории возмущений, которые и были изложены в рамках этих лекций.

Семинарские занятия, сопровождающие эти курсы, были использованы для подробного изложения современного состояния теории образования планет Солнечной системы и внесолнечных планетных систем. Было описано современное состояние наблюдений и теории протопланетных дисков — оба эти направления бурно развиваются в настоящее время благодаря прогрессу в инфракрасной астрономии. Затем были подробно рассмотрены вопросы формирования планет земной группы из планетезимального диска: кинетическая теория эволюции случайных скоростей планетезималей, их рост при столкновениях, различные режимы роста протопланетных ядер, образование неоднородностей в планетезимальных дисках и т.д. Наконец, была изложена современная теория образования планет-гигантов, с акцентом на подробном описании двух основных моделей — ядерной неустойчивости и гравитационной неустойчивости. Результаты тестирования показали хороший уровень восприятия и понимания этих вопросов слушателями школы.

Наконец, лекции Л.В. Ксанфомалити были посвящены современным воззрениям на происхождение планетных систем и результатам поисков жизни в Солнечной системе и за ее пределами [2, 3]. Как и планеты других звезд, планеты Солнечной системы представляют собой сложный конгломерат твердого и жидкого вещества, нейтрального газа и плазмы, с поступающими из окружающего пространства частицами пыли и заряженными частицами высоких энергий. Теория формирования звезд и планетных дисков была разработана достаточно давно, но сегодня, благодаря успехам теоретической астрофизики и наблюдательной астрономии, процессы формирования планетных систем становятся намного более понятными. Открытие же в 1995 г. внесолнечной планеты-гиганта 51 Peg b было стартом новой физики внесолнечных планетных систем. В руках исследователей оказался уникальный экспериментальный материал, который позволил по-новому взглянуть на аккреционные процессы. Чрезвычайно важным фактором для теории аккреции оказалась обнаруженная миграция массивных экзопланетных тел до низких околозвездных

орбит, явление, которого Солнечная система, скорее всего, каким-то образом избежала. Метод лучевых скоростей (МЛС) позволил обнаружить много гигантов с массой, сравнимой с массой Юпитера. Но поиск прямых аналогов планет земной группы пока остаётся за пределами технически возможного. Важные результаты получены в наблюдениях гигантов, оказавшихся на неожиданно низких орбитах. Для Солнца кеплеровская скорость, возникающая под действием Земли, составляет всего  $0,09 \text{ мс}^{-1}$ ; это в 10–30 раз за пределами лучших достигнутых результатов. Тем не менее первые экзопланеты с массами в несколько масс Земли уже обнаружены, хотя и на очень низких орбитах. Статистические сведения об орбитальных и массовых характеристиках экзопланет стали надёжной базой проверки создаваемых новых теорий.

Пять проведённых Школ позволяют подвести первые итоги. За эти годы Школу посетили около 150 человек из почти 40 научных организаций России и Украины. При этом чётко выделяются три основных группы. По 12–14 участников, как и ожидалось, выдвинули лидеры астрономической науки — Московский и Санкт-Петербургский государственные университеты, а также Физический институт им. П.Н. Лебедева и Институт космических исследований РАН. По 5–7 участников было от Волгоградского, Казанского и Ярославского университетов и Московского физико-технического института, а также Института астрономии (Москва), Института прикладной физики (Нижний Новгород), Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург) и Специальной астрофизической обсерватории РАН (п. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия), т.е. от институтов РАН, активно занимающихся астрономической тематикой. Остальные два десятка учреждений были представлены лишь одним-двумя слушателями. При этом состав слушателей постоянно менялся. В частности, не было ни одного участника, посетившего пять или хотя бы четыре Школы, а в трёх Школах принимали участие лишь семь человек.

Особенно следует отметить фундаментальность прочитанных курсов. Фактически, за пять Школ были охвачены все основные методы теоретической физики, а именно гидродинамика (магнитная гидродинамика), кинетика и физика плазмы, общая теория относительности, атомная и ядерная физика. Тем самым, помимо астрофизических приложений, слушатели имели возможность освежить в памяти (а, возможно, кто-то и впервые подробно прослушать) основания теоретической физики. В этом, на наш взгляд, состоит ещё одна важнейшая роль современной астрофизики — имея практически неограниченную область применения, она позволяет поддерживать другие науки в рабочем состоянии. С другой стороны, в лекциях были отражены и самые последние достижения как в теории, так и в наблюдениях. Это стало возможным именно потому, что все лекторы не только уже много лет активно преподают в крупнейших вузах страны, но и являются ведущими специалистами в своих областях. Прежде они неоднократно участвовали в работе подобных Школ за рубежом. А вот возможность выступить с лекциями на родном языке у нас в стране для такой большой аудитории им представилась впервые.

В целом, Школа прошла на высоком уровне. Она подтвердила как высокий уровень преподавания, так и высокий уровень слушателей (о последнем можно судить

хотя бы по тому, что практически никто не пропускал лекции, и по многочисленным вопросам). Удачен оказался и новый формат Школы, впервые реализованной в Пушкино. Никогда ранее на астрофизических школах в России не были представлены столь подробные лекционные курсы, позволяющие детально ознакомиться с материалом. А успешное включение в программу Школы семинарских занятий подняло её на ещё больший уровень. По нашему мнению, лишь при наличии самостоятельной работы участников Школа может выполнить свое основное предназначение — научить работать в новой области. Важнейшим условием успеха Школы, безусловно, было и её полное финансирование.

С другой стороны, Школа позволила выявить и ряд недостатков в подготовке молодых учёных. Понятно, что подготовка специалистов в МГУ, СПбГУ, ФИАНе, ИФАНе и ФТИ им. А.Ф. Иоффе традиционно оказывается выше, чем в целом по стране. Именно участники из этих институтов (а также, что хотелось бы особенно отметить, из ВолГУ) показали наилучшие результаты при тестировании. Подготовка же во многих других местах оставляет желать лучшего. В частности, имеют место заметные провалы в подготовке по основам физики плазмы и общей теории относительности. И это не удивительно. По пальцам одной руки можно пересчитать учебные заведения, в которых этим вопросам посвящены полноценные семестровые курсы, не говоря уже о годовых. А ведь без знания основ физики плазмы и общей теории относительности невозможно успешно работать в современной астрофизике.

Успех первых пяти Школ позволяет надеяться на то, что подобные Школы будут регулярно проводиться и в дальнейшем. При этом тематика Школ должна постоянно меняться, охватывая все новые и новые области астрофизики, и, следовательно, все новых и новых слушателей. В частности, вслед за Школами, посвящёнными звездообразованию (2006), компактным объектам (2007) [4], процессам излучения (2008) и физике Солнца и солнечной системы (2009), предполагается провести отдельные школы по ядерной и плазменной астрофизике, космологии, а также вычислительным методам в астрономии. Важно также подчеркнуть, что чтение лекций на Школах уже стимулировало издание фундаментальных учебных курсов [5–9]. Информация о Школе доступна на странице [http://www.prao.psn.ru/conf/School\\_2009/ann1.html](http://www.prao.psn.ru/conf/School_2009/ann1.html).

## Список литературы

1. Кузнецов В Д "Космические исследования Солнца", в сб. *Пятьдесят лет космических исследований: "Космос: наука и проблемы XXI века"* (Под ред. А В Захарова) (М.: Физматлит, 2009) с. 60
2. Ксанфомалити Л В "История открытия внесолнечных планет", в сб. *Историко-астрономические исследования* Вып. XXVII (М.: Наука, 2002)
3. Зелёный Л М, Захаров А В, Ксанфомалити Л В *УФН* **179** 1118 (2009)
4. Бескин В С *УФН* **177** 113 (2007) [Beskin V S *Phys. Usp.* **50** 103 (2007)]
5. Сурдин В Г *Рождение звезд* (М.: УРСС, 2001)
6. Бескин В С *Осесимметричные стационарные течения в астрофизике* (М.: Физматлит, 2006)
7. Засов А В, Постнов К А *Общая астрофизика* (Фрязино: Век 2, 2006)
8. Бескин В С *Гравитация и астрофизика* (М.: Физматлит, 2009)
9. Лукаш В Н, Михеева Е В *Физическая космология* (М.: Физматлит, 2009)