

**Пятьдесят лет  
космических  
исследований. По  
материалам  
Международного  
Форума,  
посвященного  
пятидесятилетию  
запуска Первого  
искусственного  
спутника Земли,  
"Космос: наука  
и проблемы  
XXI века".  
Октябрь 2007  
г. Москва**



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ ®

УДК 520.6  
ББК 39.6  
П 99



*Издание осуществлено при поддержке  
Российского фонда фундаментальных  
исследований по проекту 09-02-07028-д*

**Пятьдесят лет космических исследований. По материалам Международного Форума, посвященного пятидесятилетию запуска Первого искусственного спутника Земли, «Космос: наука и проблемы XXI века», октябрь 2007 года. Российская академия наук. Москва** / Под ред. А.В. Захарова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 280 с. — ISBN 978-5-9221-1086-0.

Сборник статей посвящен наиболее важным результатам первых пятидесяти лет фундаментальных космических исследований, начавшихся после запуска Первого искусственного спутника Земли в 1957 г.

Сборник составляют статьи, основанные на избранных докладах торжественного и пленарных заседаний Международного форума «Космос: наука и проблемы XXI века» (Москва, 1–5 октября 2007 г.), а также оригинальные работы. Авторы рассматривают основные достижения и нерешенные проблемы в области изучения земной магнитосферы, межпланетного пространства, Солнца, Луны, ближайших к Земле планет Солнечной системы, астрофизики и физики космических лучей, а также результаты ряда фундаментальных физических и медико-биологических экспериментов, проводимых на орбитальных станциях.

Для широкого круга ученых, аспирантов и студентов, специализирующихся в области космической физики.

Составители:

А. В. Захаров, Л. М. Зеленый, О. В. Закутняя

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора . . . . .	4
---------------------------------	---

## I. Обращения к участникам Форума

Обращение Первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации С. Б. Иванова . . . . .	7
Обращение Президента Российской академии наук Ю. С. Осипова . . . . .	8
Обращение Президента Российского Союза ректоров, ректора Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова В. А. Садовниченко . . . . .	10
Обращение руководителя Федерального космического агентства А. Н. Перминова . . . . .	11
Обращение Администратора Национального управления США по авиации и исследова- нию космического пространства М. Гриффина . . . . .	13
Обращение Генерального директора Европейского космического агентства Ж.-Ж. Дордена . . . . .	15

## II. Вступительная часть

Пятьдесят лет, изменившие наш взгляд на мир (Л. М. Зеленый) . . . . .	19
Космос ради будущего (Р.-М. Бонне) . . . . .	34

## III. Обзор основных результатов, полученных в области космической физики и технологий

Пятьдесят лет наблюдений плазмы в космосе (Т. И. Мур) . . . . .	41
Космические исследования Солнца (В. Д. Кузнецов) . . . . .	60
Земная плазмосфера: 40 лет конвективной модели (А. Нишида) . . . . .	93
Радиация, захваченная магнитным полем Земли (С. Ф. Зингер, Ж. Ф. Лемейр) . . . . .	109
Исследования атмосферы Венеры и планетных атмосфер (Ж. Бламон) . . . . .	122
Исследования Луны за полвека (В. В. Шевченко) . . . . .	129
Космические лучи — странники Вселенной (М. И. Панасюк) . . . . .	155
Плазменно-пылевые кристаллы и жидкости на Земле и в космосе (В. Е. Фортон) . . . . .	179
Достижения и перспективы космической биологии и медицины (А. И. Григорьев, А. Н. По- тапов) . . . . .	198
Вклад космических технологий в научный прогресс в геодезии и геодинимике (Я. Б. Зе- линский, С. К. Татевян) . . . . .	210

## IV. Современные космические технологии

Перспективные российские космические работы для научных исследований (Г. М. Поли- щук) . . . . .	221
Экспедиция к Фобосу (Л. М. Зеленый, А. В. Захаров, Г. М. Полищук, Э. Л. Аким) . . . . .	239
Российские технологии создания систем передвижения планетоходов (М. И. Маленков, В. В. Степанов) . . . . .	250

## V. Вопросы международной кооперации в исследованиях космоса

Сотрудничество Соединенных Штатов и Советского Союза во время «холодной войны» (Р. Сагдеев, С. Эйзенхауэр) . . . . .	267
Инициатива международного сотрудничества в исследованиях космоса (Ж. Бламон, Г. Хэрндел) . . . . .	275

## Предисловие редактора

4 октября 2007 года исполнилось 50 лет со дня запуска Первого искусственного спутника Земли. Этому событию, положившему начало космической эры, создавшему новую науку — космические исследования, был посвящен Международный форум «Космос: Наука и проблемы XXI века». Форум был организован Российской академией наук и Федеральным космическим агентством. Он проходил в Москве и Санкт-Петербурге с 1 по 5 октября 2007 года. Приветствия участникам Форума были получены от С.Б. Иванова, первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации, академика Ю.С. Осипова, президента Российской академии наук, А.Н. Перминова, руководителя Федерального космического агентства, академика В.А. Садовниченко, президента Союза ректоров России, ректора МГУ им. М.В. Ломоносова, чл.-корр. РАН Л.М. Зеленого, заместителя председателя организационного комитета Форума, директора Института космических исследований Российской академии наук.

В работе Форума приняли участие российские ученые и специалисты организаций Российской академии наук, Российского космического агентства, организаций промышленности, высшей школы, а также зарубежные ученые и специалисты из многих стран. Работа Форума проходила на 12 симпозиумах и конференциях, заседаниях за «круглым столом», посвященных основным направлениям космических исследований, космической технологии, международному сотрудничеству в космосе, на которых было представлено всего 225 докладов. На пленарных заседаниях были представлены обзорные доклады ведущих ученых из многих стран по наиболее актуальным проблемам космических исследований и космической деятельности. На торжественном заседании Форума, состоявшемся в Большом зале Российской академии наук, выступили руководители Российской академии наук, Федерального космического агентства, руководители космических агентств зарубежных стран. В рамках Форума в Институте космических исследований Российской академии была проведена выставка «Космические науки — взгляд в прошлое, взгляд в будущее». В заключение состоялся торжественный концерт.

Данное издание представляет собой избранные доклады, представленные на Форуме, отражающие основные достижения и нерешенные проблемы в области изучения магнитосферы Земли, межпланетного пространства, Солнца, Луны, ближайших к Земле планет Солнечной системы, астрофизики и физики космических лучей, результаты ряда фундаментальных физических и медико-биологических экспериментов, проводимых на орбитальных станциях, некоторые вопросы космической технологии, международного сотрудничества в космосе.

*Д. ф.-м. н. А. В. Захаров*

## **Часть I**

### **ОБРАЩЕНИЯ К УЧАСТНИКАМ ФОРУМА**



**ОБРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАМЕСТИТЕЛЯ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ  
ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
С.Б. ИВАНОВА**

**Участникам Международного форума  
«Космос: наука и проблемы XXI века»**

Дорогие друзья!

От имени Правительства Российской Федерации приветствую участников Международного форума, посвященного запуску Первого искусственного спутника Земли.

Это событие — знаковое для всего человечества, имеет особое значение для России. 50 лет назад Советский Союз, переживший трагедию Великой Отечественной войны, смог первым выйти в космос. Выдающиеся русские ученые и конструкторы космической техники С.П. Королев и М.В. Келдыш, на основе идей основоположника космонавтики К.Э. Циолковского, создали и развили новое направление в науке и новую отрасль промышленности — космическую.

Космическая программа на долгие годы стала средоточием интеллектуального, промышленного и технологического потенциала общества, позволившего нашей стране стать одним из мировых лидеров. Важнейшую роль в этом прорыве сыграла фундаментальная наука, которая не только теоретически обосновала возможность космических полетов, но и самым деятельным образом участвовала в ее реализации. Разработки в области нанотехнологий, информационных систем и других новейших научных направлений по-прежнему служат основой развития отрасли.

Наша задача сегодня состоит в том, чтобы, опираясь на созданный за десятилетия потенциал отечественной космической отрасли, научиться эффективно использовать ее достижения при решении актуальных проблем XXI века. Одним из залогов успеха в этом является объединение усилий государства и общества, основанное на возрастающей во всем мире активности частных организаций в направлении изучения и освоения космоса.

Важно, что космос во многом является областью эффективного международного сотрудничества. Подтверждение тому — проведение в Москве столь представительного форума.

Желаю всем участникам и гостям плодотворной работы, интересных дискуссий и новых открытий.

## **ОБРАЩЕНИЕ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК Ю.С. ОСИПОВА**

Я рад приветствовать участников Международного форума «Космос: наука и проблемы XXI века», посвященного 50-летию со дня запуска Первого искусственного спутника Земли, в Большом зале нашей Академии наук.

Российская Академия наук имеет самое непосредственное отношение к этому юбилею. Долгие годы (1961–1975) Академию возглавлял «Главный теоретик космонавтики» — Мстислав Всеволодович Келдыш. Мстиславу Всеволодовичу удалось наладить очень тесное сотрудничество с космической промышленностью и ее лидером — Сергеем Павловичем Королевым, также являвшимся членом нашей Академии с 1953 года. Перечитывая сейчас их совместные обращения к руководству страны в конце 50-х годов — начале 60-х годов, можно видеть, как идеи, заложенные в основание отечественной космической программы пятьдесят лет назад, продолжают развиваться и приносить все новые и новые результаты.

Еще до запуска Первого спутника М.В. Келдыш и С.П. Королев представляли тот поистине огромный диапазон научных задач, которые можно будет решать с помощью спутников: исследования околоземного космического пространства и других планет, изучение нашей Вселенной во всех диапазонах электромагнитных волн, дистанционный мониторинг Земли, эксперименты в условиях невесомости и многое другое.

Важно, что с самого начала М.В. Келдыш и С.П. Королев понимали, что космические исследования, как и любая отрасль науки и технологий, требуют системного подхода и не могут мыслиться в отрыве от других сфер деятельности общества.

Именно поэтому для названия Форума, который Академия наук проводит в юбилейный год, были выбраны два понятия, казалось бы, отстоящие друг от друга довольно далеко: научный поиск и проблемы человечества. Но, наверное, нигде так ясно, как в исследованиях космоса, не проявилось значение науки для людей, живущих на нашей планете.

Когда-то космические полеты были лишь мечтой, идеей нескольких сотен, если не десятков людей, — сегодня они стали частью повседневной жизни. И тем более велико их значение, что очень часто мы просто не догадываемся о том, что за тем или иным прибором, технологией, жизненной реалией стоит «космическая» часть.

В этом, как ни в чем ином, отражается особенность космических исследований как области науки. С одной стороны, исследования космоса требуют уже достаточного уровня развития науки и технологий; с другой стороны, они, в свою очередь, служат мощнейшим стимулом для развития новых научных идей, гипотез, теорий — и, конечно же, технологий, которые затем можно применять не только в космических приложениях.

Однако это, так сказать, внешняя сторона взаимосвязи науки и человечества. Сегодня же надо сказать и о другой, внутренней ее стороне.

Запуск Первого спутника был прежде всего научной и технической задачей. Наш великий соотечественник Константин Эдуардович Циолковский, 150-летие которого мы совсем недавно отмечали, очень много занимался научными основаниями практики космических полетов. Не только его технические, но и философские работы «позвали» в Космос целое поколение будущих творцов космических аппаратов. Имя



К.Э. Циолковского входит в великолепную плеяду русских философов космистов: Николая Федорова, Владимира Вернадского, Александра Чижевского (110-летие которого мы также отмечали в этом году). Именно этим философам принадлежит разработка великой идеи о том, что человечество неразрывно связано с судьбой Солнечной системы и Вселенной. Сейчас на основе экспериментальных данных, полученных при исследовании солнечно-земных связей, мы начинаем убеждаться в справедливости этих предсказаний. Но еще больше открытий, без сомнения, ожидает нас впереди, и можно позавидовать тем, кому ещё предстоит вести научный поиск в этой области.

Сотни талантливых ученых и инженеров трудились, чтобы отправить на орбиту небольшой алюминиевый шарик с радиопередатчиком. Однако, именно этот шарик неожиданно изменил мировоззрение, без преувеличения, миллиардов жителей нашей планеты. Так 50 лет назад Космос вошел в жизнь человечества. Нет сомнений, что в будущем, на том пути познания Вселенной, по которому уже движется человечество, нас ожидают еще большие открытия и все более удивительные достижения.

**ОБРАЩЕНИЕ ПРЕЗИДЕНТА  
РОССИЙСКОГО СОЮЗА РЕКТОРОВ,  
РЕКТОРА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА  
В.А. САДОВНИЧЕГО**

Глубокоуважаемые коллеги!

Образование в XXI веке становится основой развития общества и напрямую определяет качество жизни и прогресс во всех сферах деятельности человечества. Университетское сообщество осознаёт, что от качества и результатов его деятельности будут зависеть развитие образования и перспективы прогресса в XXI веке. При этом интеграция науки и образования является основой повышения качества и инновационной направленности образования. Университетская наука является мощной составляющей всех направлений научных исследований. И среди них исследования космоса были и остаются среди приоритетных. Космические исследования, начавшиеся с момента запуска 1-го советского спутника, послужили основой формирования многих новых научных направлений, по сути дали толчок в исследованиях Вселенной.

Вклад университетских учёных в программу космических исследований трудно переоценить. Достаточно вспомнить, что имена таких выдающихся учёных — профессоров МГУ как С.Н. Вернов, М.В. Келдыш, А.Ю. Ишлинский, Г.И. Петров, Д.Е. Охочимский неразрывно связаны с университетской наукой и образованием. Благодаря усилиям учёных МГУ в 1957 году на 2-м советском спутнике была размещена первая в мире научная аппаратура. С тех пор в МГУ сформировались и продолжают успешно работать научные коллективы по многим направлениям изучения космоса. Среди них — космическая физика и астрономия, прикладная математика и медицина, дистанционное зондирование Земли в интересах географии и геологии. МГУ, пожалуй, единственный в России научно-образовательный центр, в котором сосредоточены все важнейшие направления фундаментальных и прикладных космических исследований, сочетающиеся с образовательным процессом. И это, безусловно, стало возможным благодаря запуску Первого спутника Земли, юбилейную дату которого мы отмечаем сегодня.

## **ОБРАЩЕНИЕ РУКОВОДИТЕЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА А. Н. ПЕРМИНОВА**

Уважаемые дамы и господа, участники Международного форума, коллеги, уважаемые гости!

Я рад приветствовать вас на торжественном заседании, посвященном пятидесятой годовщине запуска Первого искусственного спутника Земли, и поздравляю его создателей со столь знаменательным юбилеем!

4 октября 1957 года человечество праздновало первую победу над земным тяготением. Это выдающееся техническое достижение положило начало использованию космических аппаратов — качественно нового, мощного инструмента научных исследований. В эти дни мы в некотором смысле подводим итоги полувековой космической деятельности и одновременно смотрим в будущее.

Мы гордимся тем, что дорогу в космос открыла наша страна. Все пятьдесят лет Россия планомерно и последовательно реализует политику освоения космического пространства в интересах устойчивого развития страны. В настоящее время наш космический потенциал позволяет осуществлять полный цикл работ: от создания космических средств до получения и использования результатов космической деятельности.

Создание и затем использование ракетной космической техники было делом жизни нескольких поколений наших соотечественников. основополагающее значение для понимания теоретической возможности полета в космос имели работы великого русского ученого Константина Эдуардовича Циолковского, 150-летие со дня рождения которого мы отмечаем в сентябре 2007 года. Создание ракетной техники, начало освоения космического пространства для нас неразрывно связано с именем Сергея Павловича Королева, величайшего конструктора XX века. С празднования его 100-летнего юбилея в январе мы начали «космический» 2007 год. В созвездии космических имен я особо хочу выделить президента Академии наук Мстислава Всеволодовича Келдыша, автора фундаментальных работ по прикладной небесной механике и ракетодинамике, который был вдохновителем и организатором научной программы исследований космического пространства и по праву считается Главным Теоретиком отечественной космонавтики.

За небольшой по историческим меркам срок научные космические исследования кардинально изменили и постоянно расширяют наше знание о мире. Научные исследования с помощью космических средств осуществляются с борта автоматических и пилотируемых комплексов и охватывают весь спектр проблем изучения Земли, окружающего ее космического пространства, планет и тел Солнечной системы, самого Солнца, астрономических объектов дальнего космоса, а также астрофизические исследования, космическую биологию и физику невесомости.

Эти исследования имеют огромное значение для России ввиду исключительно важных научных открытий последних лет, перспектив освоения Солнечной системы,

разработки принципиально новых технологий и методов исследований, которые стимулируют развитие многих прикладных научных направлений.

В Федеральной космической программе России на 2006—2015 гг. предусмотрено выполнение более двух десятков проектов научного назначения. В ее рамках планируется создание специализированных космических аппаратов, снабженных целевыми комплексами научной аппаратуры, а также установка комплексов научной аппаратуры на отечественные и зарубежные космические аппараты. В период до 2015 года научные космические исследования будут проводиться по следующим основным направлениям:

- внеатмосферная физика;
- планетология;
- изучение Солнца, космической плазмы и солнечно-земных связей;
- космическая биология;
- физиология;
- материаловедение.

В частности, в области планетологии планируются полеты к спутнику планеты Марс Фобос и планете Венера, экспедиция к Луне, а также участие в ряде планетных миссий, проводимых NASA и Европейским космическим агентством. Международная кооперация в области космических научных исследований постоянно расширяется и открывает широкие возможности в решении глобальных общечеловеческих проблем.

Одна из первых наших международных программ — ИНТЕРКОСМОС — была начата ровно 40 лет тому назад в 1967 году. В ходе ее реализации получены ценные результаты по исследованию ионосферы и магнитосферы Земли, изучению Солнца и солнечно-земных связей, космических лучей, процессов и явлений в верхних слоях атмосферы, выполнены разнообразные медико-биологические, геофизические, технологические и другие исследования и эксперименты.

Сегодня я хочу подчеркнуть, что космос и наука крайне нужны друг другу и практически неразделимы. Космическая деятельность стала возможной в значительной мере благодаря успехам фундаментальной науки в области математики, физики, механики, химии и других отраслей, даже философии. С другой стороны, создание и развитие космической техники обусловили появление множества новых научных специальностей.

И сейчас космическая деятельность стимулирует развитие фундаментальной и прикладной науки, создает спрос на результаты научной деятельности.

В свою очередь, совершенствование ракетно-космической техники и новые возможности, которые она создает для научной аппаратуры, устанавливаемой на борт космических аппаратов, переводит на существенно более высокую ступень научное исследование космоса.

Я уверен, что новейшие идеи и проекты, которые предстоит обсудить на Форуме, найдут широкое применение в ракетно-космической и других наукоемких отраслях экономики. Пользуясь случаем, хочу поблагодарить всех сотрудников Российской академии наук и подведомственных ей институтов за творческий вклад в исследование и освоение космического пространства, которые позволяют российской науке занимать достойные позиции в фундаментальных и прикладных исследованиях космоса.

Уважаемые ученые, мы благодарим вас за то огромную работу, которую вы профессионально выполняете в интересах дальнейшего развития космической деятельности!

# **ОБРАЩЕНИЕ АДМИНИСТРАТОРА НАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ США ПО АЭРОНАВТИКЕ И ИССЛЕДОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА М. ГРИФФИНА**

Уважаемые дамы и господа!

Я глубоко признателен за предоставленную возможность быть здесь с вами на праздновании этого знаменательного достижения. Запуск Спутника — это поворотный момент в истории человечества, и, я полагаю, было бы уместно признать здесь сегодня, что это российское достижение. Это достижение прекрасно вписывается в историю других российских достижений в науке, математике и технике, но оно особенно символично в связи с работами Константина Циолковского, чью 150-ю годовщину мы также отмечаем.

Для тех же, кто в свое время полагал, что из-за последствий Второй мировой войны Россия превратилась в отсталую страну, Спутник послужил напоминанием всему миру, что Россия не собирается уходить.

Но Спутник был только началом, лишь одним из многих российских достижений в области космической деятельности, сделанных впервые. Вскоре после Спутника в космос было отправлено первое животное — собака Лайка. Первый облет Луны в 1959 г. Два первых выхода людей на орбиту Земли — Юрия Гагарина и Германа Титова. Первый полет с двумя космонавтами на борту — Андрияном Николаевым и Павлом Поповичем. Валерий Быковский и Валентина Терешкова — другой подобный полет, но уже с первой в мире женщиной-космонавтом. Первый космический полет с тремя космонавтами: Владимиром Комаровым, Борисом Егоровым, Константином Феоктистовым. Первый выход в открытый космос: экспедиция под руководством Павла Беляева, а выход в безвоздушное пространство выполнил Алексей Леонов. Первая посадка непилотируемого космического аппарата на Луну, осуществленная «Луной-9» в 1966 г. Первый переход экипажа из одного космического корабля в другой, выполненный во время полетов «Союза-4» и «Союза-5». Первая тройная операция с одновременным пребыванием на орбите трех космических кораблей: «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» — в октябре 1969 г. И еще очень длинный перечень достижений, совершенных в рамках программ «Салют» и «Мир» на протяжении 1970–80-х гг. — и все это произошло благодаря России и ее народу.

На этом пути также случались трагедии. Я считаю уместным на праздновании 50-й годовщины триумфального запуска Спутника почтить память тех людей, которые отдали свои жизни для развития космических полетов. Владимир Комаров в 1967 г.; Виктор Пацаев, Георгий Добровольский и Владислав Волков в 1971 г. на корабле «Союз-11». Это те трагедии, о которых в России помнят особенно.

Очень многие российские достижения в космосе достойны восхищения, и я также восхищаюсь ими. В русском народе живет мечта о космосе, и в этом, я верю, он превосходит все остальные народы Земли. Русские продолжают развивать свои возможности космических полетов, преодолевая трудности, с которыми мы, американцы, еще даже не столкнулись.

Вы достигли выдающихся результатов с гораздо меньшими вложениями по сравнению со многими другими странами, а ваши космические системы и конструкции, подходы и методы способны многому научить представителей других культур.

Мне следует также поблагодарить вас за большой вклад в развитие нашей космической программы. Именно благодаря запуску Спутника, произведенному русскими, появилась та космическая программа, которая есть у нас сегодня, поскольку, я считаю, что без Спутника-1, без Юрия Гагарина не было бы *Mercury*, *Gemini*, *Apollo* и *SkyLab* — ключевых программ 1960-х и начала 70-х гг. в США.

И, действительно, когда космическая гонка 1960-х была закончена, стало очевидно, что Америка потеряла некий внутренний импульс, внутреннее стремление к исследованию космоса только ради самого космоса.

В настоящее время, совместно работая в космосе, мы перешли от соперничества к сотрудничеству. И хотя я считаю, что соревнование весьма полезно в том случае, когда оно поддерживает необходимый баланс, еще более плодотворным является взаимодействие, при котором можно многому научиться друг у друга. Я думаю, что мы способны пройти гораздо больший путь вместе, нежели каждый из нас поодиночке. И я надеюсь, что буду способен реально помочь в этом.

В заключение хочу еще раз поблагодарить за приглашение на этот праздник ваших достижений и предвкушаю еще многие и многие годы нашей совместной работы.

Спасибо!

## **ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА ЕВРОПЕЙСКОГО КОСМИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА Ж.-Ж. ДОРДЕНА**

Для меня большая честь присутствовать сегодня на праздновании 50-й годовщины запуска Спутника, которая одновременно является и 50-й годовщиной начала исследования космоса. Это также честь для Европейского космического агентства, и, я бы даже сказал, для Европы, — быть здесь рядом с Россией и США, двумя первыми космическими державами, и праздновать это событие, которое изменило мир и жизнь на Земле.

Говоря о Европе, я хочу напомнить, что в этом году отмечается годовщина Римского соглашения, заметить, что между понятиями «космос» и «Европа» много общего.

Во-первых, они непросты. Непросты, но полезны. Оба эти понятия имеют в основе своей кооперацию. Они принесли мир. Они невидимы — ни космоса, ни Европы нельзя коснуться. И в этом одна из их проблем. По этой причине они так далеки от населения.

Но оба они также олицетворяют будущее и вселяют больше уверенности в нем.

Итак, Спутник открыл новую страницу в истории человечества. Должен сказать, что после пятидесяти лет исследования космоса это уже очевидно. Однако это не было столь очевидно в то время. Я просмотрел номер газеты от 1957 года и должен признать, что, читая ее, чувствуешь смесь энтузиазма и неверия. Смесь надежд и страхов. Но случившееся было чем-то значимым для общества. И, может быть, еще более значимым — для детей.

К слову, 1 октября 1957 года мне исполнилось 10 лет, и я поступил в среднюю школу, а через три дня был запущен Спутник.

Для меня он стал источником множества грез, и тем же он был в жизни всех моих школьных друзей. Мы все мечтали о космосе. И, должен сказать, что в получении инженерной степени я соревновался с программой NASA «Аполлон». К финишу мы пришли одновременно, так как я получил степень в тот день, когда Нейл Армстронг впервые ступил на Луну.

Хотя я никогда не был в космосе, благодаря Спутнику всегда мечтал о нем. Таким образом, Спутник стал моей жизнью.

Важность космоса никогда не была так велика, как сейчас, 50 лет спустя. Прежде всего, для ученых, и я думаю, что празднование этого юбилея здесь, в Российской академии наук, весьма показательно.

Но велика она и для населения. Множество людей всего мира ежедневно используют службы, которые представляет им космос, сами не осознавая этого. Кроме этого, еще более велико его значение для детей, потому что космос увлекает их наукой и инженерией.

Итак, космос сегодня определенно очень отличается от того, чем он был пятьдесят лет назад. От «демонстративной» роли мы перешли к тому, чтобы космос стал на

службу населению, от «холодной войны» мы перешли к миру, от соревнования — к кооперации, от космоса — к Земле. Я должен сказать, что еще многим людям предстоит осознать тот факт, что чем больше мы понимаем космос, тем больше мы понимаем Землю. Кроме этого, от двух космических держав мы перешли к их множеству. Сегодня в мире много космических сил. Среди них ЕКА — все еще малая, но, на мой взгляд, очень важная для всего мира космическая держава.

К настоящему моменту ЕКА накопило огромный потенциал в науке, различных службах и организации доступа к космосу. ЕКА многому научилось из сотрудничества, в особенности с Соединенными Штатами и Россией. Европа стала заниматься космосом в 1964 г., когда уже работало множество миссий. СССР удалось осуществить множество первопроходческих проектов, а Соединенные Штаты были близки к полету на Луну.

Но если есть хоть что-то, чему ЕКА на примере последних сорока лет может научить некоторых своих партнеров, — это, безусловно, международная кооперация. Международное сотрудничество — наша ежедневная реальность, а 17 странам работать вместе трудно, я могу это подтвердить! Но это успешное сотрудничество. Мы также работаем со всеми космическими державами мира, и, конечно же, с NASA — путь ЕКА начался с этого сотрудничества. Но мы все больше и больше сотрудничаем и с Россией, и с другими космическими державами. Мы — партнеры по Международной космической станции, и астронавты ЕКА летают туда только благодаря нашим партнерам: NASA и Роскосмосу.

Через два месяца при помощи американского космического челнока в космос будет выведен лабораторный модуль ЕКА *Columbus*, а через две недели после этого — грузовой корабль ATV, который состыкуется с российским сегментом МКС.

Будущее предсказать нелегко. И я не буду пытаться предвидеть, где мы будем через 50 лет в космосе. Я лишь твердо верю в то, что сотрудничество космических держав между собой и с некосмическими державами будет все более и более расширяться.

Никогда не стоит сожалеть о прошлом. Но есть лишь одна вещь из прошлого, о которой я сожалею, — это то, что будущее сегодня кажется слишком далеким. Хотел бы напомнить, что от Спутника до Гагарина прошло всего четыре года. Менее чем через десять лет NASA отправилось на Луну. Я хотел бы вернуться к таким темпам, потому что только так мы сможем сохранить движущую силу нашего исследования, что особенно важно для молодых поколений. Давайте же сохраним порывы и стремления!

Большое спасибо!



## **Часть II**

### **ВСТУПИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ**



# ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ, ИЗМЕНИВШИЕ НАШ ВЗГЛЯД НА МИР

*Л. М. Зеленый*

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия  
lzelenyi@iki.rssi.ru

В истории человечества редко случается так, чтобы переход из одной исторической эпохи в другую можно было отметить с точностью до дня, не говоря уже о секундах. Но 4 октября 2007 года, в 22 часа 20 минут 8 секунд исполняется ровно пятьдесят лет, как мы перешли в новую эпоху — космическую эру, которая также стала временем исследований космоса.

С тех пор прошло полвека, и спутники стали неотъемлемой частью нашей жизни и важнейшим инструментом научных исследований, который помогает нам в решении целого спектра научных проблем. Прежде всего, это исследования Вселенной: ее происхождения и эволюции, — нашего Солнца и его планет. За прошедшие пятьдесят лет изменился наш взгляд на околоземный космос. Можно сказать, что с запуском Первого спутника перед нами открылось совершенно новое пространство научного поиска.

Почему выход наших приборов за пределы Земли сыграл критическую роль в науке? Наша планета укутана довольно плотной азотной оболочкой, и, если мы посмотрим на список длин волн, которые связаны с различными физическими явлениями в космосе: от гамма-излучения до радио, — то увидим, что большинство из них «скрыто» от нас за плотным занавесом нашей атмосферы и ионосферы. Мы видим Вселенную только в два узких спектральных «окна»: видимой области и радиодиапазона (рис. 1).

Нам остается только восхищаться гениальной интуицией наших предшественников, работавших в доспутниковую эпоху, и тем, как много они смогли увидеть и угадать, глядя в эти два небольших «окна». Если же попробовать найти образ тому, что произошло пятьдесят лет назад, то мы можем вспомнить знаменитую средневековую гравюру, изображавшую монаха, пробившего головой небесную сферу и увидевшего совершенно новый мир. Спутник сыграл такую же роль. Даже хорошо известные всем «бип-бип» Спутника, на самом деле, — не просто звуковой сигнал, в них зашифрована информация о плотности и температуре внутри космического аппарата — маленького железного шарика, который изменил наш взгляд на мир.

Сравним несколько изображений одной и той же галактики со смешным названием Колесо Телеги, полученных в разных диапазонах: рентгеновском, ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном (рис. 2).

Оказывается, на разных картинках мы видим совершенно разные процессы. В обычном, видимом, свете мы не наблюдаем никаких участков, связанных с интенсивным выделением энергии, зато рентгеновское излучение позволяет ясно увидеть,

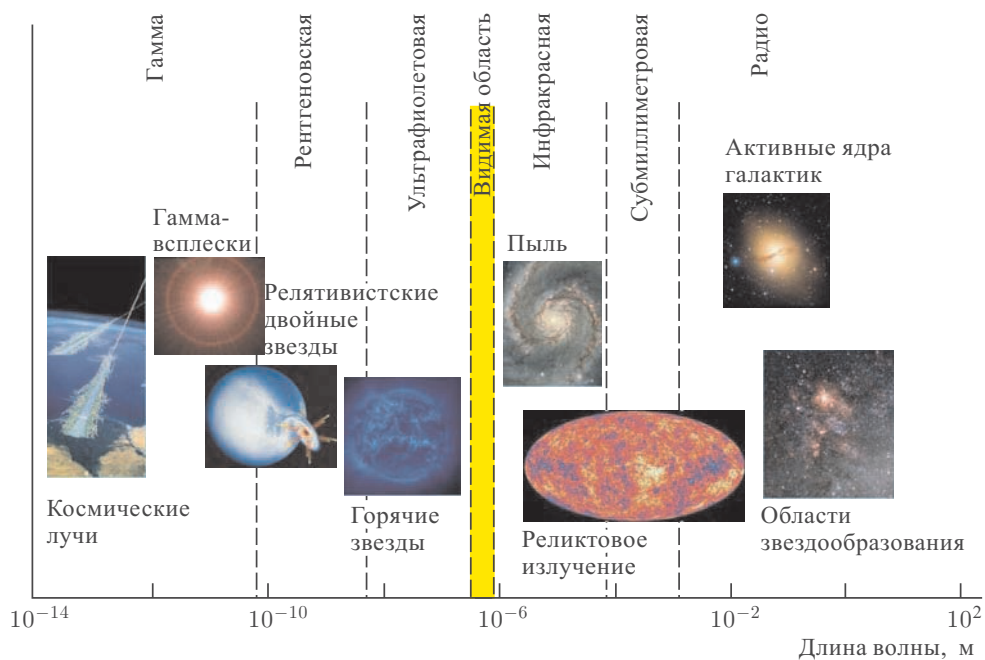


Рис. 1

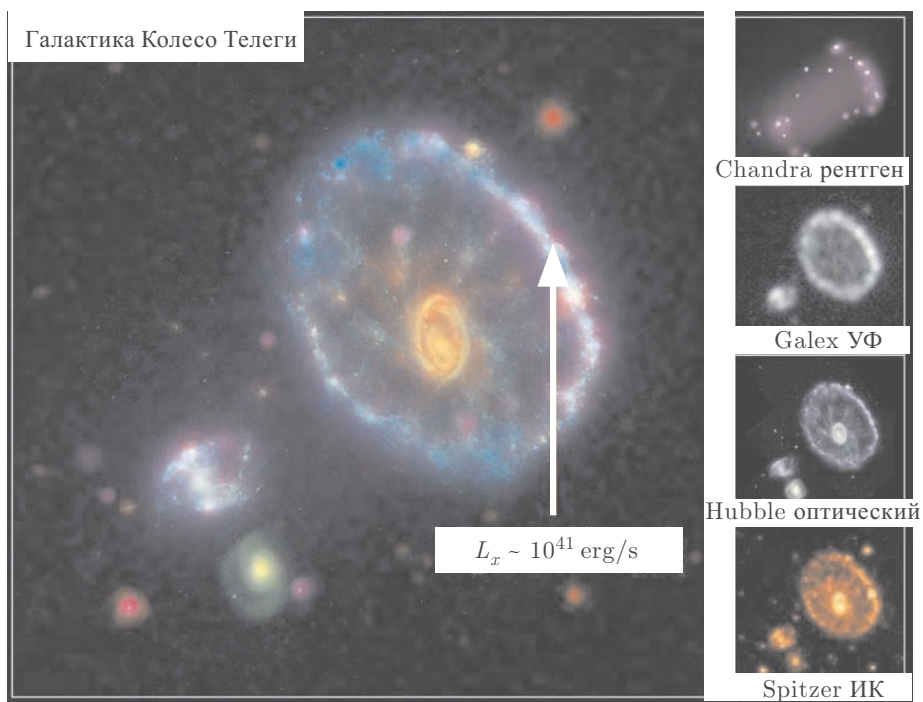


Рис. 2

где на периферии этого галактического диска выделяется энергия. Некоторые же образования, темные для нас в рентгене, становятся видимы в ультрафиолете.

С началом всеволновой астрономии, которая родилась, фактически, на самой заре космических исследований, мы буквально «прозрели» и увидели мир во всем его разнообразии и красоте.

И открытия не замедлили ждать. Наверное, самое яркое событие этих лет — обнаружение космических гамма-всплесков, мощнейших взрывов, которые происходят в отдаленных областях нашей Вселенной с выделением огромной энергии  $10^{44}$  Вт. Они примерно равномерно покрывают весь небесный свод. Как это часто случается, гамма-всплески были открыты случайно американским спутником *Vela*, который изначально предназначался для того, чтобы следить за испытаниями ядерного оружия в Советском Союзе. Позднее в Советском Союзе также проводили подобные эксперименты: КОНУС, эксперименты на венерианских межпланетных станциях и некоторых других аппаратах. Открытие гамма-всплесков чрезвычайно важно, так как позволяет совершенно по-новому взглянуть на процессы выделения энергии во Вселенной. В последние годы нам удалось отождествить гамма-всплески в оптике, но все же их природа до сих пор не понятна, и ученые продолжают работать над этой проблемой.

Следующая цепь открытий последовала в другом диапазоне, более низких энергий. Она связана с рождением рентгеновской астрономии, основатель которой, Рикардо Джакони, за свои работы в 2002 г. был удостоен Нобелевской премии. Главное физическое явление, которое удалось обнаружить с помощью рентгеновских телескопов, — аккреция вещества на нейтронные звезды и черные дыры. Вещество, падающее на такие компактные объекты, ускоряется, разогревается и начинает светить в рентгене. Таким образом, с помощью рентгеновских телескопов нам открываются, фактически, иначе не видимые астрофизические явления (рис. 3).

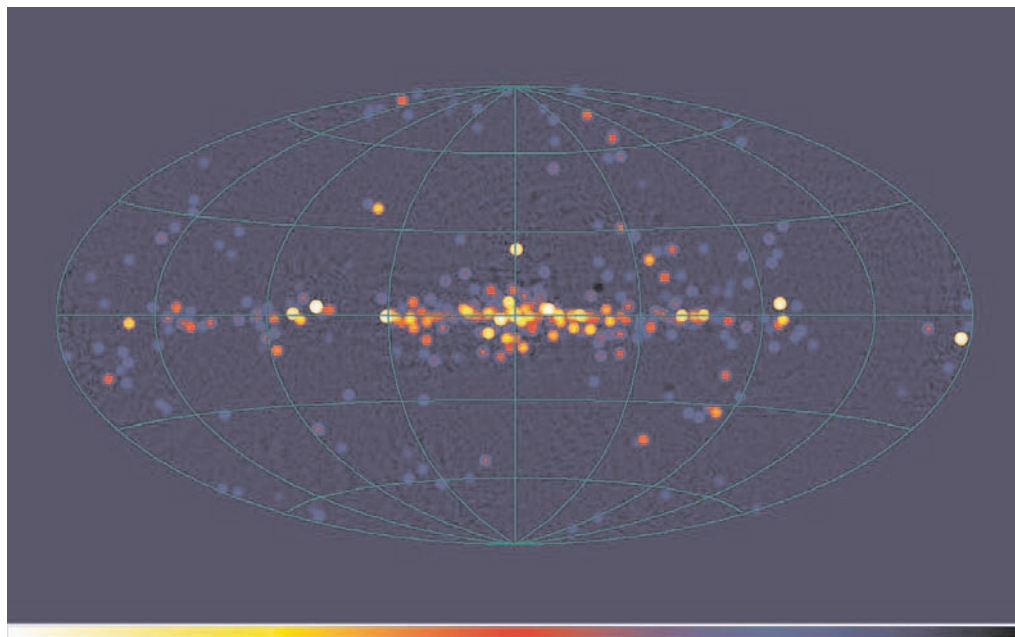


Рис. 3. Изображение КА INTEGRAL (ESA)

Кроме этого, мы совсем по-другому взглянули и на наше Солнце. До спутниковой эры ученые могли наблюдать только солнечные пятна в области усиления магнитного поля. Когда на Солнце взглянули рентгеновские телескопы, мы смогли увидеть области, где действительно происходит энерговыделение. И, сравнивая эти данные с тем, что можно получить в других диапазонах: видимом свете, ультрафиолете (рис. 4) — мы получаем полную картину того, что происходит с нашей звездой.

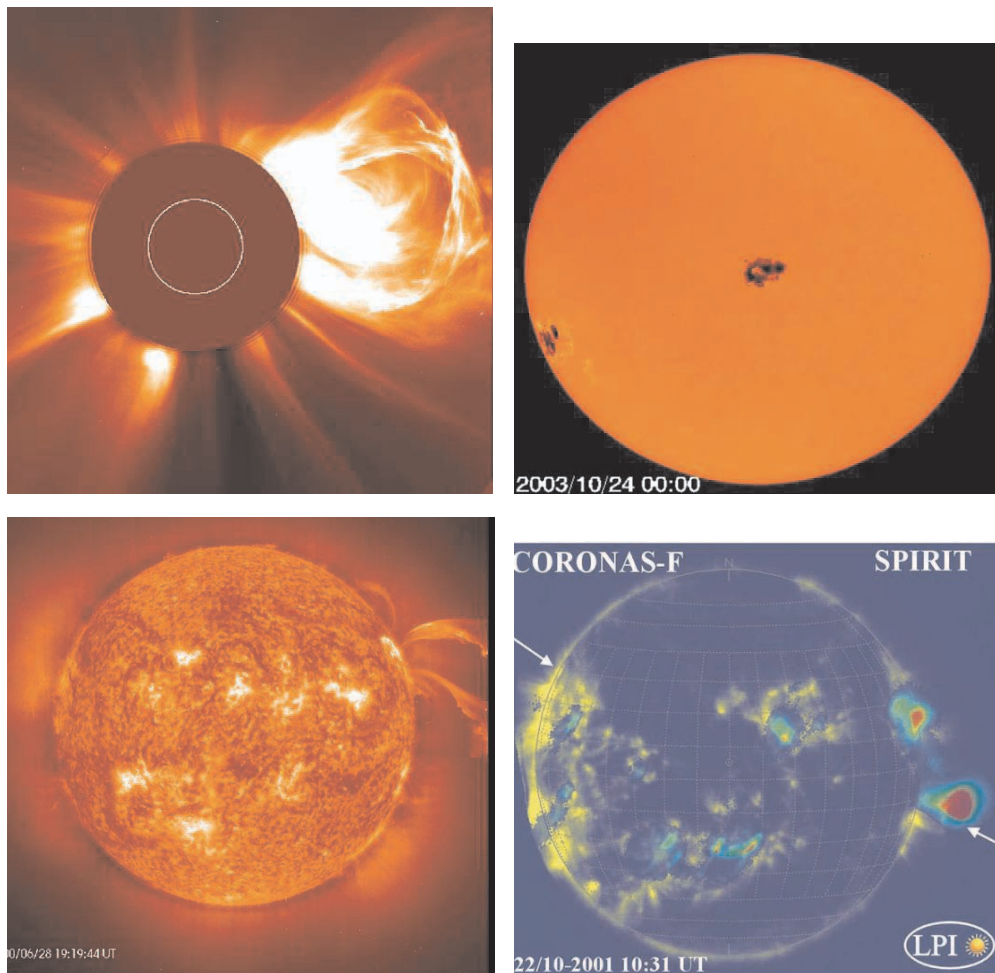


Рис. 4. Изображения КА SOHO (ESA, NASA) и «Коронас-Ф» (Россия)

Исследуя физику этого энерговыделения, мы можем понять, почему и как Солнце выбрасывает мощные облака замагниченной плазмы, которые распространяются по всей Солнечной системе. Некоторые из них достигают Земли и приводят к достаточно неприятным последствиям: сильным магнитным бурям, которые могут вывести из строя линии электропередач, спутники на околоземных орбитах и даже технику на Земле. Понимание физики всей этой цепочки позволяет нам попытаться предсказывать опасные ситуации, основываясь на наблюдениях активности Солнца.

Последуем дальше. Очень важной для астрофизики оказалась ультрафиолетовая астрономия. Именно в этом диапазоне светят молодые звезды. Наше Солнце — уже

«пожилая» звезда, и его спектр смещен в желтую сторону. Но в первые миллиарды лет после рождения его температура была гораздо выше и светило оно в более коротковолновом ультрафиолетовом участке спектра. Наблюдая небо в ультрафиолетовом диапазоне, мы видим, говоря образно, «детский сад» звезд, можем исследовать процессы их формирования, и это позволяет нам понять историю нашего Солнца и Солнечной системы.

Космические исследования вывели на новый уровень и оптическую астрономию, история которой уже насчитывает тысячелетия. Оптические наблюдения вполне можно проводить и с Земли, но нельзя забывать об ее атмосфере со всевозможными аэрозолями и турбулентностями. Недаром крупные телескопы выносятся в горные районы, где небо относительно чисто. И потому так важен был следующий шаг — выход крупных оптических телескопов на околоземные орбиты. Одним из выдающихся успехов стал запуск космического телескопа им. Хаббла, или, как часто говорят, просто «Хаббла» (*Hubble*). Он провел очень много интереснейших наблюдений, но если выбирать из всех открытий, сделанных с его помощью, то наиболее важным, по моему мнению, стало уточнение постоянной Хаббла. В конце 20-х гг. прошлого века американский ученый Эдвин Хаббл, изучая спектральное смещение различных галактик, определил, что наша Вселенная расширяется. Чем дальше находится объект от Земли, тем в более красную сторону смещен его спектр. Этот закон получил название «закон Хаббла», и постоянная Хаббла, которая связывает расстояние до галактики с ее скоростью, фактически, определяет историю нашей Вселенной и нашу судьбу. Сам Хаббл оценил ее как 500 км/с на мегапарсек.

С тех пор почти 70 лет продолжались попытки уточнить эту константу. Величина ее «гуляла» очень сильно, и только после запуска «Хаббла» удалось получить достаточно точное ее значение. Знание этого параметра очень важно, чтобы понимать физику и роль темной энергии и темной материи, которые заполняют нашу Вселенную.

Другое величайшее открытие в космологии произошло в более длинноволновом диапазоне — субмиллиметровом. Им стало измерение углового распределения реликтового излучения, которое «хранит память» о самых первых моментах истории нашей Вселенной. После Большого взрыва вещество было почти однородно, и только постепенно из мельчайших его неоднородностей, величина которых составляла всего одну тысячную процента, позднее образовались наша метagalaktika, галактики, звезды и в том числе наше Солнце — вся видимая нами крупномасштабная структура Вселенной.

Измерения этих неоднородностей были трудны, так как величина анизотропии очень мала. Такие эксперименты проводились и в нашей стране: в 80-х годах работал советский космический аппарат «Реликт», с помощью которого измерения выполняла группа ученых из Института космических исследований и Института астрономии Академии наук СССР. К сожалению, эти работы по различным причинам не были доведены до конца. В дальнейшем величину анизотропии измерял спутник COBE (NASA), и общепризнанными авторами этого открытия стали американские астрофизики Джон Мазер и Джордж Смут, которые в 2006 г. получили Нобелевскую премию по физике, также ставшую второй Нобелевской премией, врученной за результаты космических исследований (рис. 5).

Теперь обратимся к другой «классической» области — радиоастрономии, которая также довольно давно существует на Земле. Для все большей точности радиоинтерферометрических наблюдений необходимо как можно дальше разнести два радиотелескопа друг от друга, тем самым увеличивая базу радиointерферометра. Но, находясь на Земле, мы всегда ограничены ее диаметром — 12 тысяч километров. С выходом телескопов в космос это ограничение можно преодолеть, и уже сейчас

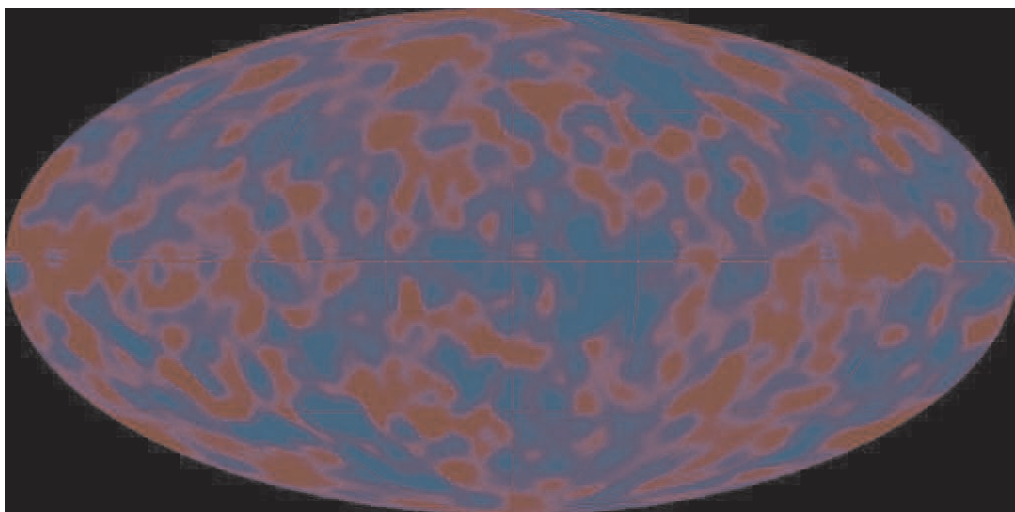


Рис. 5. Изображения КА COBE (NASA)

в мире готовятся новые, гораздо более точные, космические проекты. В частности, в России планируется запуск проекта «Радиоастрон», где с помощью орбитального радиотелескопа наблюдения будут проводиться на базе в десятки раз большего расстояния — 350 тысяч километров. Это позволит с очень высокой точностью исследовать самые тонкие особенности строения радиоисточников в нашей и далеких галактиках, в частности, квазаров.

Не меньший, чем в астрофизике, каскад открытий за прошедшие годы последовал в изучении Солнечной системы. Мы узнали очень много фактически о всех планетах нашего Солнца (рис. 6). Наверное, только Плутон еще не подвергся такому

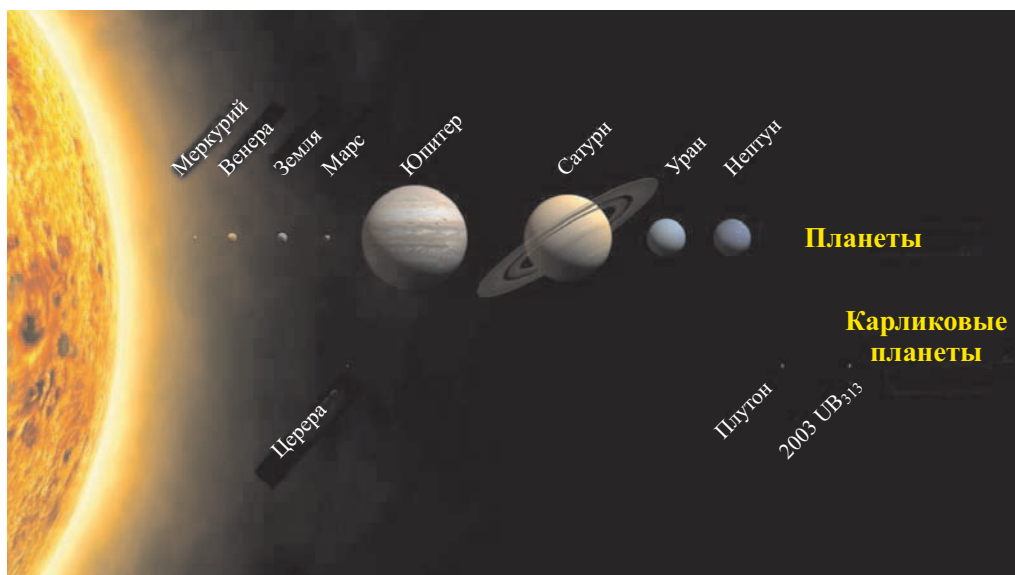


Рис. 6



тщательному исследованию, хотя уже сейчас мы с нетерпением ждем информации космического аппарата *New Horizons*<sup>1)</sup> (NASA). Правда, сам Плутон за это время перестал официально считаться планетой и с прошлого года превратился в астероид<sup>2)</sup>.

Измерения проводились и у первой планеты от Солнца — Меркурия, но это происходило довольно давно: первые изображения планеты передал на Землю американский аппарат *Mariner-10* в 1974-75 гг. Впрочем, в ближайшие годы эта планета тоже станет объектом внимательного исследования. Сейчас к Меркурию летит американский аппарат *Messenger*<sup>3)</sup>, результатов которого мы очень ждем. Европейское космическое агентство также планирует миссию к Меркурию, которая получила название *BepiColombo*<sup>4)</sup>.

Интересно, что, пожалуй, самой большой неожиданностью и сильным разочарованием для ученых стала Венера. Советские посадочные аппараты, которые отправлялись к ней в начале 70-х гг. и позже, передали совершенно потрясающие научные результаты. Венера оказалась в буквальном смысле слова горячим «адам»: ее атмосфера очень плотная, давление у поверхности в сто раз выше земного, температура — более 700°. Если до этого Венеру называли «сестрой Земли», то сейчас ее пример, скорее, показывает, как далеко нас может завести саморазгоняющийся парниковый эффект.

Наоборот, приятным сюрпризом для многих исследователей и тех, кто мечтает о колонизации Солнечной системы, стали последние исследования Марса. Здесь целая серия экспериментов, начиная от российского эксперимент ХЕНД на американском аппарате *Mars Odyssey*, затем радары и оптические инструменты на европейском спутнике *Mars Express* обнаружили довольно серьезные запасы водяного льда. Видимо, Марс имел когда-то обширные акватории. Сейчас идут споры о том, насколько велики они были, но, безусловно, когда-то планету покрывали если не океаны, то реки, и даже на современном рельефе Марса видны сильные промоины.

Рассказать подробно сразу обо всех планетах невозможно, поэтому я остановлюсь на одной из них, которая особенно сильно поразила мое воображение, и в большой степени благодаря блестящим экспериментам последних лет, — Сатурне и, прежде всего, его знаменитых кольцах. Они известны очень давно, но «близкий взгляд» открыл нам, насколько они динамичны, как распространяются в них волны, какова их тонкая структура. Российские теоретики из Института астрономии разработали теорию структуры колец и предсказали так называемое «явление пастуха»: маленький астероид или маленький спутник, вращающийся вокруг Сатурна, «выметает» вещество из кольца и образует в нем множественные щели, подобно тому, как действует пастух, разгоняющий овец (рис. 7).

Мое воображение, как наверняка и многих из нас, до сих пор поражает посадка аппарата *Huygens* на спутнике Сатурна Титане. Это небольшое планетное тело оказалось в чем-то похожим на молодую Землю, но только ту роль, которую на Земле играет вода, здесь исполняет метан. Если вы посмотрите на рельеф Титана, то увидите, что он действительно напоминает Землю: небольшие горные хребты, промоины

---

<sup>1)</sup> Запуск КА *New Horizons* произошел в 2006 г. Предполагается, что он достигнет Плутона в 2015 г.

<sup>2)</sup> В августе 2006 г. Международный астрономический союз одобрил резолюцию, уточняющую определение планеты.

<sup>3)</sup> Запуск в августе 2004 г. В январе 2008 г. КА совершил первый пролет возле Меркурия. Выход на орбиту искусственного спутника Меркурия должен произойти в марте 2011 г.

<sup>4)</sup> Запуск *BepiColombo* планируется на 2013 г., он должен будет достигнуть Меркурия в 2019 г.

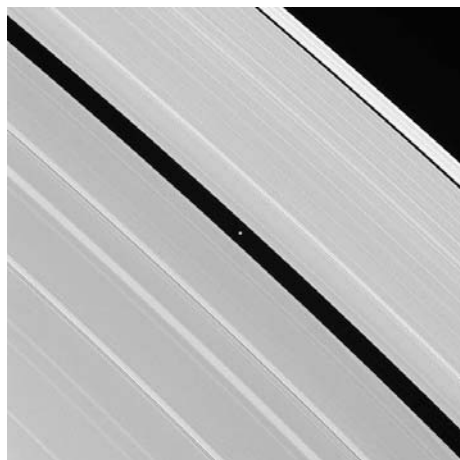
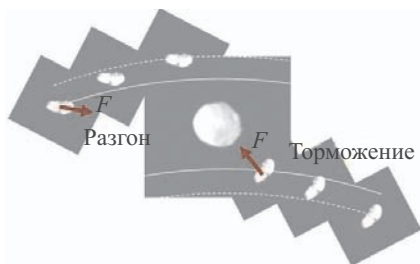


Рис. 7. А. Fridman et al.

от рек, ущелья, овраги. Создается впечатление, что на Титане существовали потоки жидкого вещества, но ясно, что им был метан. Кроме этого, в атмосфере Титана очень много дымки, по-английски «haze», состоящей из каких-то органических веществ. Различные космические агентства уже планируют продолжать исследования этого спутника Сатурна, и, мне кажется, он преподнесет нам еще очень много сюрпризов и открытий.

Но вернемся ближе к Земле и посмотрим, что нового мы узнали об околоземном космическом пространстве. До этого речь шла, в основном, об оптических, рентгеновских, ультрафиолетовых телескопах, то есть о приборах, регистрирующих электромагнитные излучения. Спутниковая эра позволила экспериментаторам вывести на орбиту и приборы, измеряющие параметры плазмы — четвертого состояния вещества, которое до открытия темной энергии и темной материи считалось самым распространенным.

О том, что Земля имеет магнитное поле, знали еще древние китайцы, которые изобрели компас. Эти данные впервые систематизировал Гильберт, который показал, что Земля — это магнитный диполь, довольно сильный, как мы теперь понимаем, по космическим меркам магнит. Через 300 лет Кристиан Биркеланд, великий норвежский ученый, понял, что полярное сияние, которое он наблюдал и систематически изучал в Норвегии, — это вторжение солнечных частиц, или корпускул, в атмосферу Земли. Но непонятным оставалось то, насколько систематично это явление и как часто оно происходит.

Спутниковая эра сразу дала ответ на многие загадки. Как и в астрофизике, открытия посыпались, как из рога изобилия. Через несколько месяцев после запуска Первого спутника, на Третьем советском спутнике уже работали приборы для измерения высокоэнергичных частиц (как их называли тогда — радиаций). Независимо и почти одновременно Джеймс Ван Аллен (США) и Сергей Вернов (СССР) опубликовали работы, посвященные поясам энергичных частиц, захваченных в магнитную ловушку, которую представляет собой магнитное поле Земли. Частицы захватываются в этой магнитной «бутылке» (рис. 8) и дрейфуют вокруг Земли.

Это, кстати, в свою очередь оказалось очень серьезным препятствием, как мы сейчас понимаем, для космических полетов, потому что радиация очень сильна, и все научные эксперименты, и в особенности пилотируемые полеты, должны учитывать

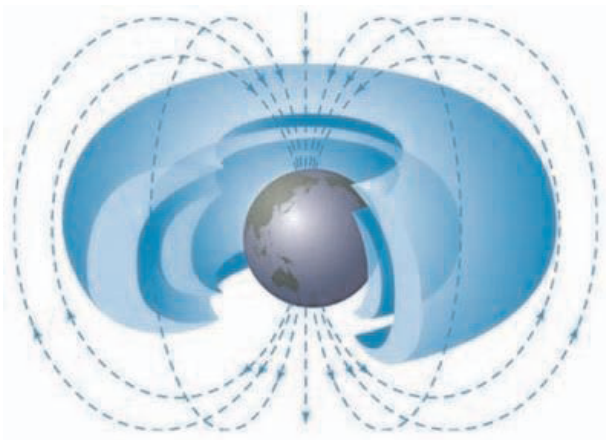


Рис. 8

наличие радиационных поясов, потому что пребывание в них может оказаться смертельным.

Следующая череда открытий наступила чуть позже и связана с открытием плазмосферы. Его сделали по спутниковым данным советский исследователь Константин Иосифович Грингауз и по наземным наблюдениям вистлеров американский ученый Карпенер. Если вы посмотрите на плотность плазмы, которая была измерена Грингаузом при удалении от Земли, то увидите, что существует резкое «колено» — скачок в концентрации частиц на определенной высоте, который никто не мог объяснить. Только потом расчеты позволили понять, что ионосфера Земли, о существовании которой знали уже давно, не ограничивается высотами 1000–5000 км, но представляет собой огромный «шар» размером около 25 тыс. км, который вращается вместе с Землей, увлекая за собой и остальные частицы.

Немного позже исследование магнитного поля позволило определить, как устроена сама система земной магнитосферы. Это открытие сделал профессор Норман Несс, академик Американской академии наук. Им была найдена важная структура — хвост магнитосферы, который как бы «вытягивается» по солнечному ветру на миллионы километров. Для физики этой системы он очень важен, так как именно в нем аккумулируется энергия, которая после может выделяться взрывообразным образом и создавать магнитные бури и сильные полярные сияния на Земле — говоря образно, «колебать космическую погоду» (рис. 9).

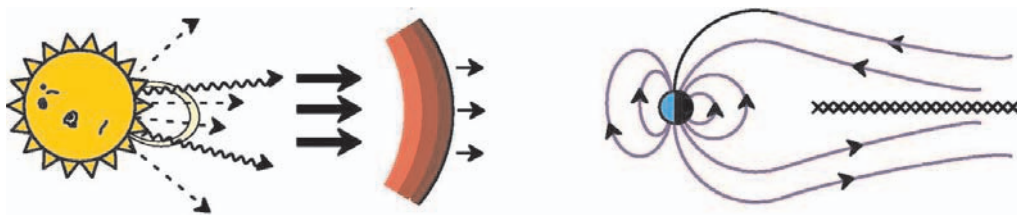


Рис. 9

Немного позже на советском спутнике «Луна-2» и других аппаратах был исследован солнечный ветер. Оказалось, и это опять стало неожиданностью для ученых, что от Солнца постоянно распространяется поток горячей плазмы, которая взаи-

действует со всем телами Солнечной системы. Ранее были косвенные указания на существование такого потока, например, по отклонениям кометных хвостов. Исследователи подозревали, что между Землей и Солнцем существует какой-то постоянно действующий агент, который переносит дополнительную энергию. Мне хочется вспомнить здесь российского ученого, младшего современника Циолковского и в каком-то смысле его ученика и друга, — Александра Леонидовича Чижевского, который сопоставлял количество солнечных пятен с разными катастрофическими явлениями на Земле, в том числе с количеством убийств, ограблений, нападений саранчи, эпидемиями и так далее. Он увидел взаимозависимость этих процессов и, наверное, интуитивно почувствовал, что есть какой-то дополнительный канал передачи энергии от Солнца к Земле, помимо самого солнечного излучения.

Позже, когда были исследованы другие планеты Солнечной системы: Меркурий, Юпитер, Сатурн — оказалось, что эта структура магнитного поля, которую мы обнаружили у Земли, по сути, универсальна. Каждое из этих небесных тел имеет похожую магнитосферу, только разного масштаба: самая большая, конечно, у Юпитера, самая маленькая — у Меркурия. Но еще меньше магнитосфера может быть у нейтронной звезды. Колоссальная магнитосфера обнаруживается у радиогалактик. Иными словами, вблизи Земли мы обнаружили новое физическое явление — магнитосферное взаимодействие.

Наша Солнечная система тоже находится внутри магнитосферы, включенной в другой поток — межзвездного газа. Плазма, растекающаяся от Солнца, — солнечный ветер — на расстоянии около 90 астрономических единиц сталкивается с межзвездным веществом, и на границе этого столкновения возникает сложное взаимодействие.

В итоге вырисовывается следующая картина: магнитосферы всех планет Солнечной системы вложены в общую магнитосферу, которую Солнечная система, в свою очередь, «вырезает» в межзвездной плазме. И приятно отметить, что совсем недавно впервые в истории космический аппарат, сделанный руками человека, дошел до этих границ Солнечной системы. В 2004 г. американский аппарат *Voyager* пересек ударную волну и продолжает двигаться дальше. Уже совсем скоро рукотворный объект впервые попадет не просто в межпланетное, а в межзвездное пространство.

Благодаря этим наблюдениям солнечно-земная физика стала достаточно зрелой наукой, чтобы попытаться прогнозировать последствия катастрофических событий на Солнце. Такие прогнозы «космической погоды» становятся все более и более востребованными: необходимо оценивать радиационную опасность для космонавтов на орбите и для управления телекоммуникационными и навигационными спутниками. К сожалению, было много примеров, когда несерьезное отношение к таким «погодным» условиям приводило к тому, что некоторые спутники выходили из строя. Печально известен, например, коммуникационный спутник *Telstar*, который был потерян во время магнитной бури.

Конечно, пока мы не умеем предсказывать космическую погоду, уровень нашего понимания ее примерно такой же, каков был уровень понимания обычной погоды в 30-х гг. прошлого века. Земная магнитосфера — сложная нелинейная система, и понять ее по измерениям всего в трех-четыре точки, как это происходило до сих пор, очень сложно. Нам нужно больше точек измерений и, как следствие, больше космических аппаратов в околоземном пространстве. Такие многоспутниковые рои также планируются разными космическими агентствами, в том числе и российским.

Теперь давайте подойдем еще ближе и взглянем уже на саму Землю. Спутники позволили нам увидеть нашу планету как глобальную экосистему, лучше понять ее атмосферу, погоду, климат, наблюдать многие катастрофические явления тайфунов, цунами, вулканических извержений. Существует много работ, касающихся