

БИТВА ЗА МАРСИАНСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

О.Л. Вайсберг

Марс с самого начала был одной из основных целей Советской космической программы. Фридрих Цандер — один из основателей ГИРД¹ и конструктор первых отечественных жидкостных ракет в начале 1930-х годов провозгласил лозунг: «Вперёд на Марс!»

Для Сергея Павловича Королёва задача достижения Марса тоже была приоритетной: он был автором амбициозного марсианского проекта и конструктором «Марса-1», запущенного 1 ноября 1962 года, к сожалению, переставшего выходить на связь с Землёй после удаления от неё на 106 млн км.

Долгое время Марс был среди целей космической программы СССР, ввиду чего первым большим проектом недавно образованного ИКИ стал МАРС-69. Помню, с каким энтузиазмом научные работники и инженеры института трудились над этой, тогда грандиозной, миссией.

В содружестве с инженерными фирмами были разработаны, изготовлены и испытаны два многотонных космических аппарата (КА), которые были запущены летом 1969 года с помощью ракет «Протон». В тот период произошло несколько аварий при пусках этих ракет. Две из них несли спутники к Марсу. Первая ракета с марсианским зондом долетела до Кызыла, а вторая упала на старте.

Помню, с каким ужасным настроением я уходил из московского центра управления в Хамовниках после этих запусков. Среди большой научной нагрузки МАРС-69 был и энерго-масс-спектрометр РИП-803 для отдельного измерения ионов солнечного ветра, который мы с моими молодыми, как я, коллегами придумали, а сотрудники СНИИП² во главе с удивительным человеком и гениальным инженером Борисом Исааковичем Хазановым разработали и изготовили. Это был первый энерго-масс-анализатор для исследования межпланетной плазмы, но в результате аварий «Марс-69» нас опередили американцы, запустившие похожий прибор на спутнике IMP в 1971 году Кис Огилви (Keith Ogilvie).

Ранее созданный для исследования Марса прибор, РИП-801, работал на КА «Прогноз-2» в 1972 году и позволил получить интересные данные о солнечном ветре и ударных волнах в космической плазме.

В ИКИ при работе над проектом МАРС-69 не возникало возражений по поводу того, что приборы для исследования магнитного поля и плазмы у планет, и в частности, у Марса, являются важной частью планетных исследований. Поэтому на МАРС-69 были установлены три прибора для исследования околомарсианского пространства: магнитометр (руководитель — Шмая Шлёмович Долгинов из ИЗМИРАН³), плазменные

¹ ГИРД — Группа изучения реактивного движения — научно-исследовательская и опытно-конструкторская организация, занимавшаяся разработкой ракет и двигателей к ним.

² СНИИП — ОАО «Специализированный научно-исследовательский институт приборостроения».

³ ИЗМИРАН — Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН.

ловушки для ионов и электронов (руководитель — Константин Иосифович Грингауз из Радиотехнического института АН СССР) и наш энерго-масс-спектрометр РИП-803.

После неудачи проекта МАРС-69 на заседании под руководством Мстислава Всеволодовича Келдыша в актовом зале Института прикладной математики (ИПМ) состоялось обсуждение проекта МАРС-71. На заседаниях и семинарах в ИПМ тогда присутствовали практически все научные работники страны, занятые в космических исследованиях.

На этом заседании К. И. Грингауз, Ш. Ш. Долгинов и я представляли предложения по экспериментам. Неожиданно ведущий планетолог из ИКИ выступил против включения в программу экспериментов по исследованиям магнитного поля и плазмы у Марса под предлогом того, что эти исследования не имеют отношения к исследованию планеты.

Я, тогда ещё молодой человек, не имевший собственных экспериментальных исследований в космосе, попросил слова и у доски изложил стоявшему рядом М. В. Келдышу, что можно ожидать от плазменных и магнитных измерений у Марса. При этом я использовал рисунки, поясняющие проблему и предлагаемый эксперимент (рис. 1). М. В. Келдыш слушал внимательно и принял решение о включении предлагавшихся нами трёх экспериментов в программу МАРС-71.

В это время мы договорились с Б. И. Хазановым об использовании в наших приборах нового типа детекторов — канальных электронных умножителей (КЭУ), которые уже использовались американскими исследователями в плазменных приборах. Это были миниатюрные детекторы, позволяющие делать многоканальные приборы. В СССР такие детекторы не выпускались, и мне удалось договориться с директором Всесоюзного научно-исследовательского института электроннолучевых приборов (ВНИИЭЛП) Георгием Сергеевичем Вильдгрубе о разработке первых в СССР приборов этого типа.

Тогда слово «космос» имело особый смысл и вес, часто открывавшие важные двери, и даже я — молодой человек — мог свободно договариваться с таким известным и влиятельным лицом как Г. С. Вильдгрубе о новой работе. Он даже отдавал мне хранящиеся в его шкафу образцы приборов.

Так в СССР появились первые КЭУ, и они были использованы в приборах для экспериментов на спутниках Марса и Венеры.

С лёгкой руки М. В. Келдыша три эксперимента достаточно успешно работали на первых спутниках Марса «Марс-2» и «Марс-3». На самом деле, в программе МАРС-71 было изготовлено три межпланетные станции: две — с посадочными аппаратами и одна — без него. Она и стартовала первой, была выведена на парковую околоземную орбиту, но на ней и осталась. Говорили, что в его вычислительную машину неверно было введено время, а младшие разряды были введены на место старших, и наоборот. Оставшемуся на парковой орбите «Марсу-2» дали имя «Космос-419». Так «Марс-3» и «Марс-4» превратились в «Марс-2» и «Марс-3» (рис. 2). Оба они достигли Марса и стали первыми его искусственными спутниками. Для меня и для моих коллег это были первые осуществлённые космические эксперименты.

Некоторые мои хорошие знакомые-учёные считают, что надо гордиться научными результатами, а не космическими проектами, в которых ты участвовал. Конечно, для научного работника важны научные результаты. Но для того, кто готовил эксперименты для космических проектов, реализованные проекты имеют особенно большое значение.

Эксперимент готовится долго, в наше время — не менее пяти лет. И если твой прибор улетел в космос и дал данные для интересной научной работы, то это основание гордиться участием в этом проекте. В моей жизни было много приборов, которые погибли при запусках, и тем ценнее стали те, которые долетели до цели.

Что касается межпланетных станций «Марс-2» и «Марс-3», то первые результаты измерений нашим прибором РИЭП-2801 были получены при пролёте магнитно-плазменного шлейфа Земли на пути к Марсу на расстоянии 3 млн км. Для нашей молодой группы это было особым событием — увидеть данные измерений прибора, в создании которого мы принимали участие, — необыкновенное наслаждение, особенно в первый раз, а если из этого получен новый результат — то удовольствие вдвойне. В моей жизни эти первые измерения были особенно значимы, так как позволили отбить атаку недоброжелателей, которые пытались закрыть для меня и моих коллег доступ к планетным исследованиям (потом оказалось, что это была не последняя попытка).

Когда «Марс-2» и «Марс-3» достигли цели и передали на Землю данные с нескольких орбит вокруг Марса, у нас появилась уверенность, что наши приборы обнаружили ударную волну в потоке околосолнечного солнечного ветра. На самом деле, первый признак такой ударной волны был получен американским пролётным космическим аппаратом и основывался на возрастании магнитного поля на фланге Марса. Однако эти данные не были достаточно убедительными, о чём свидетельствовало несколько противоречащих друг другу публикаций американских исследователей. Наши же данные обнаружили скачкообразные возрастания температуры, сопровождающие торможение потока плазмы, и эти скачкообразные изменения ложились на характерную кривую для околосолнечной ударной волны. Поэтому я решил срочно опубликовать эти данные — до того как остальные участники проекта убедили директора ИКИ академика Г.И. Петрова коллективно обсудить все измерения плазмы и магнитного поля. В этом мне помог заместитель директора Георгий Степанович Нариманов, подписавший представление статьи в журнал «Доклады Академии Наук СССР». Я считал важным зафиксировать приоритет результата, особенно в связи с предшествующими событиями.

Советские результаты исследования плазмы и магнитного поля возбудили большой интерес у американских исследователей, особенно у известного учёного Нормана Несса (Norman Ness), одного из первооткрывателей околосолнечной ударной волны. Он приезжал в СССР, чтобы самолично ознакомиться с советскими результатами.

Измерения плазмы и магнитного поля К.И. Грингаузом, Ш.Ш. Долгиновым и нами совместно с нашими коллегами стали основой многочисленных обсуждений и довольно большого количества публикаций, причём весьма противоречивых. Одним из серьёзных причин возникших противоречий было то, что аппараты «Марс-2» и «Марс-3» имели большую высоту перицентров орбит над поверхностью Марса — более 1 тыс. км. Так как ударная волна у Марса расположена на дневной стороне, на сравнительно близком от планеты расстоянии, а орбиты «Марс-2» и «Марс-3» во время активного их существования не пересекали плазменно-магнитную оболочку Марса на ночной стороне, то основная информация о положении и размере этой оболочки могла быть получена только из положения ударной волны (то, что «Марс-2» на некоторых витках всё-таки пересекал её, выяснилось позже).

Таким образом, на первых порах внимание К.И. Грингауза, Ш.Ш. Долгинова и моё было сосредоточено на положении ударной волны. Это всем нам казалось особенно

существенным, так как все увлекались положением ударной волны как индикатора размера препятствия потоку солнечного ветра у Марса. Для анализа использовалось сравнение с гидродинамической моделью обтекания препятствия. Хотя первые модели не учитывали влияния магнитного поля, правомерность вытекала из результатов успешного сравнения положения околоземной ударной волны и границы препятствия у Земли — магнитопаузы.

Так как число зарегистрированных пересечений ударной волны было невелико (включения нашей группы приборов было ограничено из-за более низкого присвоенного приоритета по сравнению с приборами для исследования атмосферы), положение подсолнечной точки определялось по сравнению наблюдавшихся пересечений с моделями, выбранными участниками трёх экспериментов независимо. Тем не менее, при всей разнице оценок, полученное положение ударной волны было дальше от планеты, чем можно было объяснить предположением о том, что препятствием потоку солнечного ветра является ионосфера Марса.

К этому времени не было достаточного понимания процессов взаимодействия солнечного ветра с газовыми препятствиями. Поэтому К. И. Грингауз и Ш. Ш. Долгинов заключили, что относительно удалённое положение ударной волны от Марса объясняется наличием у него собственного планетного магнитного поля. Сделав оценки размера препятствия по газодинамической модели с использованием измеренных положений ударной волны, необходимую величину магнитного момента Марса они вычислили уже по полученным результатам.

Наши расчёты на основе измерений ионов давали несколько более близкое положение ударной волны, чем расчёты группы К. И. Грингауза, основанные на измерениях электронов, которые давали несколько более удалённое её положение.

С использованием собственной аппроксимации полученных результатов мы получили более близкое к Марсу положение ударной волны, но заключили, что помимо ионосферы для зарегистрированных пересечений ударного фронта необходимо что-то ещё.

Определённое основание для того, чтобы подвергнуть сомнению заключение К. И. Грингауза и Ш. Ш. Долгинова о существовании собственного планетарного магнитного поля Марса, возникло у нас ввиду регистрации нашим прибором потоков ионов относительно малых энергий, порядка нескольких десятков электронвольт, на ближайших к планете участках орбиты аппаратов-спутников.

Мы посчитали регистрацию низкоэнергичных ионов входом в препятствие солнечному ветру и назвали эту область ионной подушкой. Вместе с моим коллегой, Анатолием Владимировичем Богдановым, мы сравнили наблюдения на КА «Марс-2» и «Марс-3» с измерениями посадочного модуля «Венера-4» и пролётного аппарата у Венеры «Маринер-5» и пришли к выводу о схожести процессов у Марса и Венеры. Оснований считать, что у Венеры есть собственное магнитное поле, не было. Таким образом, наш вывод, отличный от выводов К. И. Грингауза и Ш. Ш. Долгинова, состоял в том, что одним магнитным полем Марса нельзя объяснить полученные данные.

Мы жили в счастливое время, когда зонды к Марсу и Венере запускались с интервалом приблизительно в два года. Ожидать следующих экспериментов было достаточно оснований. Главный конструктор Научно-производственного объединения (НПО) им. С. А. Лавочкина, Георгий Николаевич Бабакин, отличался смелостью и умением

создавать надёжные космические аппараты. И, действительно, за МАРС-71 последовал МАРС-73.

Программа двух спутников обсуждалась заново. Мы опять столкнулись с возражением главного специалиста по планетам в ИКИ на включение в программу исследований магнитного и плазменных экспериментов. В этот раз М. В. Келдыш не стал принимать решения сам, а поручил вице-президенту АН СССР, академику Б. П. Константинову, разобраться с программой. Я приехал на заседание его комиссии и изложил свои аргументы в пользу нашей с К. И. Грингаузом и Ш. Ш. Долгиновым программы. На этом заседании против наших экспериментов выступил и директор ИКИ академик Г. И. Петров, но Б. П. Константинов, тем не менее, принял решение включить плазменно-магнитный комплекс в программу МАРС-73.

В программе проекта было четыре аппарата: два пролётных и два спутника. Пролётные аппараты «Марс-6» и «Марс-7» сбросили посадочные модули на Марс, «Марс-5» вышел на орбиту спутника, а «Марс-4», к сожалению, пролетел мимо планеты. Но для трёх наших групп это всё равно был праздник. Хотя «Марс-5» также имел достаточно высокий перицентр, его орбита на больших высотах проходила частично на ночной стороне, а это открывало новые возможности.

Наши измерения на дневной стороне не добавили ничего нового, чтобы изменить выводы групп К. И. Грингауза и Ш. Ш. Долгинова, с одной стороны, и нашей группы, с другой. Но измерения на ночной стороне дали исключительно интересный материал.

На начальной стадии анализа измерений мне пришлось довольно туго. Дело в том, что наш прибор РИЭП-2801 (номенклатура СНИИП) имел несколько электростатических анализаторов, в которых в качестве датчиков ионов были КЭУ ВНИИЭЛП.

Эти анализаторы измеряли ионы в разных диапазонах энергий. Два из них измеряли спектр солнечного ветра и во время перелёта регистрировали его с разной чувствительностью (это характерно для так называемых ненасыщенных детекторов). Однако на орбите Марса эти два анализатора регистрировали разные по форме энергетические спектры ионов, в отличие от измерений в солнечном ветре, и не было ясно, какому из них верить, — в этом состояла вся серьёзность проблемы. Мы не знали, не связаны ли эти расхождения с каким-то важным недостатком одного из приборов.

Было понятно, что необходимо провести тщательный анализ работы запасного прибора и, в особенности, КЭУ того типа, что установлены в приборе на «Марс-5». В то время наша наземная экспериментальная база была недостаточно состоятельной, чтобы провести тщательный анализ. Я обратился к заведующему лабораторией нашего института Владасу Брониславовичу Леонасу, у которого была богатая экспериментальная база для исследования элементарных атомных процессов. Он согласился предоставить мне возможность работать на одной из установок, на которой я смог провести анализ работы КЭУ при регистрации ионов разных масс и энергий. Благодаря этому я установил, что КЭУ, работающие в ненасыщенном режиме, имеют разную чувствительность к тяжёлым (например, кислород) и лёгким (водород и гелий) ионам. При этом при изменении общей чувствительности КЭУ различие в эффективности регистрации тяжёлых и лёгких ионов тоже изменяется.

Таким образом, у нас в руках оказалось два уравнения (разные КЭУ двух анализаторов) с двумя неизвестными (тяжёлые и лёгкие ионы). Это позволило нам по показаниям этих анализаторов нашего прибора на «Марс-5» разделить спектры лёгких

(в основном, протоны) и тяжёлых (скорее всего, по данным измерений, ионы кислорода) ионов. Наши измерения на «Марс-5» показали, что чем ближе аппарат-спутник к Марсу, тем больше в потоке плазмы ионов кислорода.

С этими результатами я выступал от имени нашей группы на международной конференции «Взаимодействие солнечного ветра с планетами Меркурий, Венера и Марс», которая состоялась в Москве в 1975 году. Там было сделано замечательное коллективное фото (рис. 3) участников конференции, где запечатлены почти все учёные, занимавшиеся проблемой взаимодействия солнечного ветра с этими планетами.

Одним из убедительных свидетельств правильности интерпретации наших измерений для меня стало то, что тяжёлые ионы были только добавкой в потоке плазмы на большем расстоянии от оси Солнце-Марс на ночной стороне планеты, но являлись преобладающим компонентом потока ближе к оси. При приближении к ней смена между двумя режимами происходила резко, и эта граница совпадала со скачком магнитного поля.

Таким образом, обработанные нами результаты измерений показали наличие плазменного хвоста планетарного происхождения, совпадающего с магнитным хвостом. Наши измерения также показали, что через хвост Марса происходят существенные атмосферные потери, индуцированные солнечным ветром (рис. 4).

К. И. Грингауз со своими сотрудниками пришли к другой интерпретации на основе своих измерений ионов и электронов в хвосте Марса. Они интерпретировали их как измерения в шлейфе без резкой границы, заполненном горячей плазмой. И Ш. Ш. Долгинов, и К. И. Грингауз приводили новые оценки магнитного момента Марса, исходя из размеров полости, образуемой планетой в потоке солнечного ветра (рис. 5).

Следующим этапом обсуждений явился замечательный симпозиум по физике солнечно-планетной обстановки в Боулдере (Boulder), США, проводившийся летом 1976 года. Грингауз, Долгинов и я были среди докладчиков. Оба моих оппонента защищали концепцию планетарного магнитного поля Марса. Я рассказал о своей интерпретации измерений, подтверждавшей поток планетарных ионов, идущих через хвост Марса, и указал на противоречия в доказательстве существования планетарного магнитного поля. Удивил меня и некоторых участников доклад Ш. Ш. Долгинова, который после краткого введения о своих результатах перешёл на критику моих работ. Его доклад продолжался около часа, несмотря на попытки конвенера остановить его по истечении установленного времени. Другим «неудалёмым с трибуны» был гость симпозиума космонавт Виталий Севастьянов, который с энтузиазмом в течение часа рассказывал учёным о своих подвигах.

После нашей сессии ко мне подошёл известный американский учёный Дейв Эванс и высказал мне свои сомнения по поводу моей интерпретации измерений с помощью КЭУ. Я не мог не прислушаться к замечаниям Дейва, который был высшим авторитетом в области применения КЭУ в космосе и начал использовать их в своих экспериментах раньше меня.

В Москву я вернулся с определённым беспокойством и намерением продолжить работу по анализу данных измерений у Марса. Всегда сомневаться в своих и чужих результатах — одно из необходимых качеств научного работника.

В Москве скоро произошло приятное событие: новый директор ИКИ, академик Р. З. Сагдеев, решил преобразовать мою группу в лабораторию. Его отношение ко мне

колебалось от отрицательного к благоприятному. По-видимому, он посчитал моё участие в Боулдерском симпозиуме (я также выступал с нашими результатами по исследованию Венеры) достаточно удачным.

Был продолжен анализ наших измерений у Марса. Помимо замечаний Дейва, а также необходимости найти дополнительные свидетельства правильности (или ложности) интерпретации наших измерений, надо было ответить на критику К.И. Грингауза и его сотрудников, которую они изложили в научной печати. В своей работе они утверждали, что наша интерпретация не верна, что связано с незамеченной нами зависимостью чувствительности детекторов от энергии ионов.

Наши измерения у Марса с двумя детекторами, практически на одной энергии, я проверил, что позволило полностью исключить зависимость от энергии в сравнении данных двух детекторов. В результате оказалось, что основной признак изменения состава ионного потока у Марса сохраняется: отношение концентрации тяжёлых ионов к концентрации лёгких, выражающееся в данном случае в отношении сигналов двух детекторов, увеличивается по мере приближения к Марсу.

Таким образом, подтвердился вывод о том, что в потоке плазмы вблизи Марса доля тяжёлых ионов увеличивается по мере приближения к планете, а в её хвосте тяжёлые ионы доминируют.

К тому же я нашёл подтверждение наших результатов в измерениях энергетических спектров ионов и электронов на «Марс-5», проделанных группой Грингауза с помощью широкоугольных анализаторов (типа цилиндров Фарадея, которые они называли ловушками). Отношение измеряемого потока ионов к потоку электронов по этим измерениям резко падало в хвосте Марса, что К.И. Грингауз объяснил изотропизацией (переходом углового распределения от направленного к всенаправленному) потока ионов. Это укрепило их точку зрения о планетарном магнитном поле Марса, так как всенаправленный поток характерен для хвоста магнитосферы Земли с собственным магнитным полем.

Однако наши измерения с узконаправленными электростатическими анализаторами показывали, что поток ионов в хвосте Марса является направленным. Таким образом, резкое падение отношения измеряемого приборами К.И. Грингауза потока ионов к потоку электронов также убедительно показало изменение ионного состава. Более того, величина падения отношения этих показаний приблизительно соответствовала переходу от преимущественно протонного потока солнечного ветра, обтекающего Марс, к потоку преимущественно ионов кислорода в хвосте планеты, оценённому по нашим измерениям.

Через несколько месяцев Дейв Эванс прислал мне отпечаток статьи Джеймса Берча (James Burch)¹, одного из самых известных космофизиков США, и его коллег с результатами исследований количественного выхода вторичных электронов при ударе в мишень ионов. Они обнаружили, что выход вторичных электронов при ударе тяжёлых ионов больше, чем при ударе лёгких. При этом они сослались на нашу работу, как демонстрирующую тот же эффект. Действительно, при работе КЭУ в ненасыщенном режиме, как в нашем случае, средняя амплитуда импульсов при попадании на вход КЭУ тяжёлых ионов будет больше, что даёт возможность фактически проводить масс-анализ

¹ *Fields S. A., Burch J. L., Oran W. A. Mass-dependent channel electron multiplier operation // Review of Scientific Instruments. 1977. V. 48. No. 8. P. 1076.*

(конечно, по своей разрешающей способности сильно уступающий традиционной масс-спектрометрии). Так мы неожиданно для нас самих смогли обнаружить этот эффект и с его помощью открыть поток ускоренных атмосферных ионов из верхней атмосферы Марса.

Приблизительно в 1985 году известный космофизик профессор Кристофер Рассел (Christopher Russell) пригласил меня сделать на симпозиуме доклад о хвосте Марса. При подготовке я решил использовать в качестве эпиграфа фразу из повести-сказки «Винни-Пух и Все-Все-Все» Алана Милна (в переводе Б. Заходера): «Well, either a tail is there or it isn't there. You can't make a mistake about it» («Хвост либо есть, либо — нет. Тут нельзя ошибиться»). Я поместил этот эпиграф на первой «прозрачке» (тогда ещё не было PowerPoint¹), и аудитория оценила такое начало моего выступления. В этом докладе, помимо всего прочего, я привёл ещё и достаточно любопытный график оценок собственного магнитного поля Марса. Там были отражены вариации оценок, фигурировавших в публикациях с 1972 по 1983 год, сделанных преимущественно Ш. Ш. Долгиновым и К. И. Грингаузом.

Проведённая мной через точки прямая должна была при экстраполяции пересечь горизонтальную ось приблизительно в 1991 году, что позволило мне предсказать результат «отмены» собственного магнитного поля Марса примерно в это время.

История с эпиграфом имела неожиданное продолжение. Я рассказал её моему молодому соавтору Антону Артемьеву, очень продуктивному и успешному теоретику нашего плазменного отдела ИКИ. Через некоторое время он мне принёс неожиданный подарок: кружку, украшенную горельефом Иа-Иа, ослёнка из книжки про Винни-Пуха, изображением магнитосферы и частью эпиграфа из моего доклада (рис. 6). Антон сказал, что он пересказал историю своему знакомому скульптору, Нине Штаревой, и история произвела на неё такое впечатление, что она создала диковинную кружку — подарок Антона мне. Я думаю, что идея всё-таки принадлежала Антону. А кружка стала заметным экспонатом в моей коллекции необычных вещей.

В 1988 году к Марсу были запущены две советские автоматические станции «Фобос-1» и «Фобос-2». Директор ИКИ академик Р.З. Сагдеев, как и во времена ВЕГИ, не допустил меня к участию в проекте, даже на стадии отбора экспериментов. На спутниках был установлен магнитометр ИЗМИРАН и три плазменных прибора: ионный энерго-масс-спектрометр ASPERA² Шведского космического института (Рикард Лундин — Rickard Lundin), ионный энерго-масс-спектрометр TAUS совместной германо-советской разработки (Гельмут Розенбауер — Helmut Rosenbauer из Института им. Макса Планка и К. И. Грингауз) и электронный спектрометр (К. И. Грингауз).

«Фобос-1» вышел из строя на пути к Марсу, видимо, в результате недостаточно продуманной концепции системы космического аппарата, разработанного уже после смерти генерального конструктора НПО им. С. А. Лавочкина Георгия Николаевича Бабакина.

«Фобос-2» стал спутником Марса и, хотя он не выполнил основную задачу посадки на Фобос и возврат на Землю грунта, но за время работы на орбите позволил получить большой объём измерений плазмы и магнитного поля. И ASPERA и TAUS работали до-

¹ PowerPoint — многофункциональная программа подготовки и просмотра презентаций, являющаяся частью офисного пакета приложений Microsoft Office.

² ASPERA — Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms.

статочно успешно. Ирония с работой энерго-масс-спектрометра TAUS состояла в том, что он не сработал по назначению, а лишь позволил разделять лёгкие и тяжёлые ионы, то есть выполнял ту же функцию, что и наш прибор на «Марс-5». В результате TAUS не позволил получить массовый спектр ионов, хотя и дал интересную информацию, полученную благодаря тому, что для исследования магнитосферы Марса орбита «Фобос-2» оказалась более подходящей, чем орбита «Марс-5».

Фактически, TAUS подтвердил наши результаты с «Марс-5» и в части того, что хвост Марса заполнен, в основном, тяжёлыми ионами. Это не помешало К.И. Грингаузу и его коллегам продолжать утверждать, что их измерения на «Фобос-2» правильные, а наши измерения на «Марс-5» — неправильные. Что касается прибора ASPERA, то он мог отдельно измерять основные ионы и показал, что хвост Марса заполнен, в основном, потоками O^+ и CO^+ (по отождествлению Р. Лундина поздние измерения состава прибором ASPERA-2 на спутнике «Mars-Express» были интерпретированы как смесь O^+ , O_2^+ и CO_2^+) с протонами в качестве примеси. Вслед за нашим выводом по измерениям на «Марс-5», Р. Лундин со своими коллегами показал, что поток атмосферных ионов в хвосте Марса, возникающий в результате взаимодействия с солнечным ветром, достаточно велик, чтобы привести к значительной потере атмосферы Марсом за срок его существования. Обсуждение этого очень важного вопроса продолжается и по сей день, что, впрочем, выходит за рамки данного сообщения.

Несомненно, эксперименты на «Фобос-2» позволили значительно более подробно исследовать взаимодействие солнечного ветра с Марсом благодаря усовершенствованной аппаратуре, более удачной орбите у Марса и существенно большему объёму переданной информации. Что касается вопроса существования собственного планетарного магнитного поля Марса, то после работы «Фобос-2» группа К.И. Грингауза продолжала интерпретировать свои измерения как подтверждение существования собственного планетарного магнитного поля Марса.

Развязка наступила после выхода на орбиту Марса американского космического аппарата Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) в 1997 году. На этом спутнике были установлены магнитометр и энерго-спектрометр электронов. По измерениям магнитометра на первых витках орбиты вокруг Марса (руководителем эксперимента был хорошо известный магнитометрист Марио Акунья — Mario Acuña) на сайте NASA¹ было опубликовано сенсационное сообщение об обнаружении собственного планетарного магнитного поля Марса. Я тут же написал письмо Кристоферу Расселу — он, также как и я, подвергал сомнению обнаружение планетарного магнитного поля на Марсе: «Неужели мы были такие дураки, что не смогли обнаружить собственное магнитное поле при анализе измерений?»

Буквально через несколько дней сообщение об обнаружении собственного магнитного поля Марса было удалено с сайта NASA. Оказалось, что на Марсе действительно есть магнитное поле, но не планетарное, а магнитное поле аномалий на части его поверхности. На этом вопрос о собственном магнитном поле Марса был закрыт.

Что касается магнитных аномалий, то они играют определённую роль во взаимодействии солнечного ветра с атмосферой Марса, но это в основном относится к ситуации, когда при суточном вращении планеты её сторона, на которой есть значительные магнитные аномалии, оказываются дневной. В целом, существование магнитных

¹ NASA — National Aeronautics and Space Administration.

аномалий вносит небольшой вклад как во взаимодействие солнечного ветра с Марсом, так и в атмосферные потери планеты.

Наше соперничество с К. И. Грингаузом и Ш. Ш. Долгиновым, в целом, принесло пользу в вопросах исследования Марса и его взаимодействия с солнечным ветром. Конкуренция всегда полезна и приводит к определённому прогрессу и в науке. В нашем случае она также помогла обратить внимание на важность проблемы магнитного поля Марса и утвердить, вопреки сопротивлению некоторых советских планетологов, изучение взаимодействия солнечного ветра с Марсом важной частью программы исследования этой планеты. Результатом этого является вывод на орбиту Марса в 2014 году американского космического аппарата MAVEN¹, целиком посвящённого исследованию верхней атмосферы Марса и её взаимодействия с солнечным ветром.

Я очень рад тому, что работал над этой проблемой в начале своей научной карьеры в области космических исследований и продолжаю делать это до сих пор.

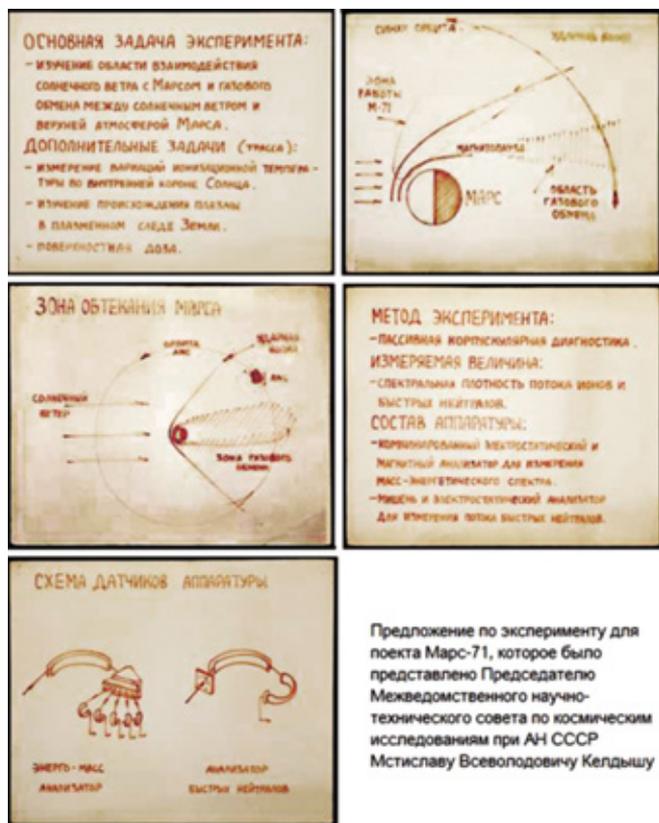


Рис. 1. Предложение по эксперименту для проекта МАРС-71, которое было представлено председателю Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям при АН СССР Мстиславу Всеволодовичу Келдышу

¹ MAVEN — Mars Atmosphere and Volatile Evolution (эволюция атмосферы и летучих веществ на Марсе).



Рис. 2. Копии вымпелов, устанавливавшихся Научно-производственным объединением (НПО) им. С. А. Лавочкина на межпланетных автоматических станциях, запускавшихся к Марсу. Вверху — первая станция «Марс-2» (без спускаемого аппарата), оставшаяся на парковой орбите. Ниже — «Марс-3» и «Марс-4», ставшие после выведения в космос «Марсом-2» и «Марсом-3». Внизу — «Марс-4», «Марс-5» и Фобос



Рис. 3. Участники конференции «Взаимодействие солнечного ветра с планетами Меркурий, Венера и Марс» в Москве в 1975 году. Слева направо: сидят — Джон Спрайтер, Олег Вайсберг, Алекс Десслер, Херберт Бридж, Май Изак, Тамара Бреус, Игорь Подгорный, Олег Белоцерковский, Велиор Шабанский, Норман Несс, Н. Жигулёв, Шмая Долгинов, Александр Липатов, Константин Грингауз, Зигфрид Бауэр; стоят — Альберт Галеев, Н. Савич, Лев Жузгов, Станислав Романов, Евгений Ерошенко, Георгий Застенкер, Лев Зеленый, Эдуард Дубинин, Анатолий Богданов, Валерий Смирнов, В. Митницкий и Поль Клотье

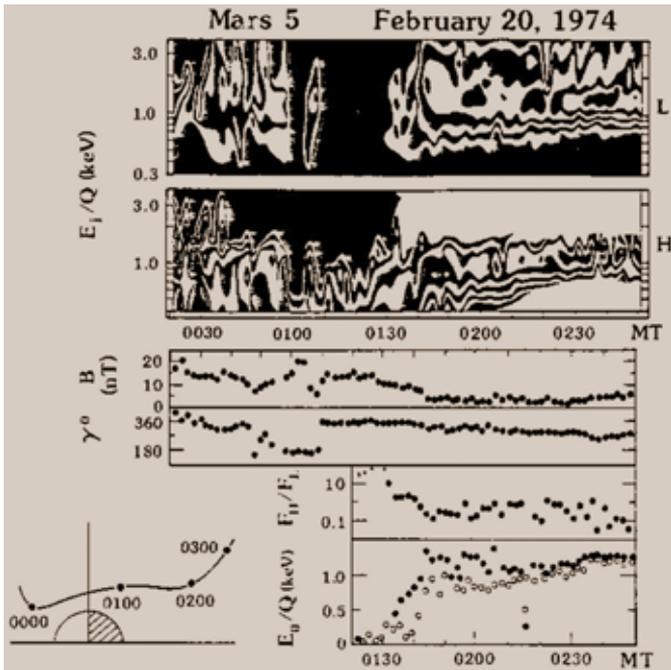


Рис. 4. Обнаружение истечения планетарных ионов через хвост Марса (Vaisberg O. L., Smirnov V. N., Bogdanov A. A., Kalinin A. P., Karpinsky I. P., Polenov B. V., Romanov S. A. Ion flux parameters in the region of solar wind interaction with Mars according to measurements // Space Research. 1976. V. 16. P. 1033–1038)

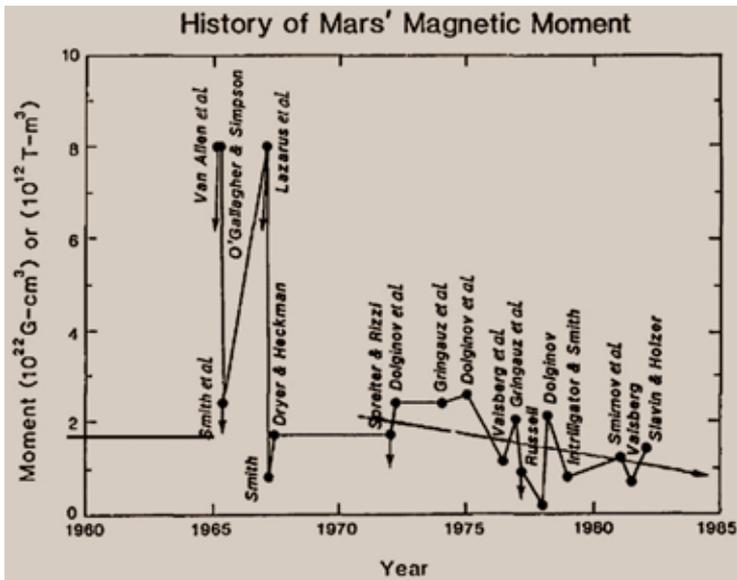


Рис. 5. Оценки величины собственного магнитного поля Марса и «экстраполяция его эволюции со временем» (Vaisberg O., Smirnov V. The Martian magnetotail // Advances in Space Research. 1986. V. 6. No. 1. P. 301–314)



Рис. 6. Кружка

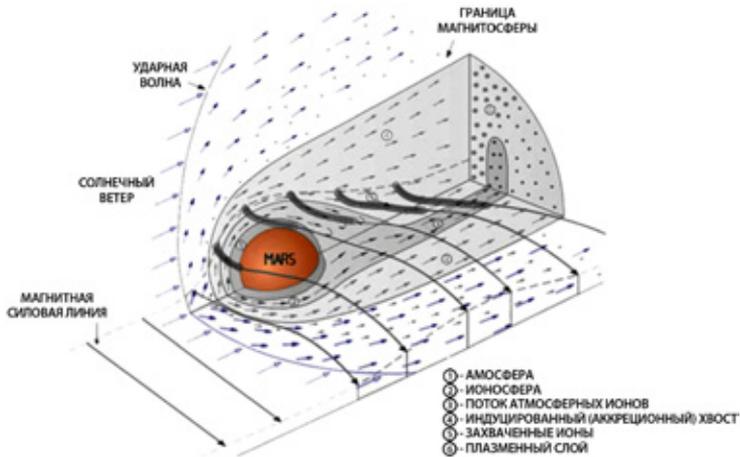


Рис. 7. Структура магнитосферы Марса по результатам наблюдений и с использованием модели аккреционной магнитосферы, предложенной нами со Львом Матвеевичем Зеленым (Vaisberg O. L., Zelenyi L. M. Formation of the Plasma Mantle in the Venusian Magnetosphere // Icarus. 1984. V. 58. P. 412–430; Zelenyi L. M., Vaisberg O. L. Venusian Interaction with the Solar Wind Plasma Flow as a Limiting Case of the Cometary Type Interaction // Advances of Space Plasma Physics / Ed. Buti. World Scientific, 1985. P. 59–76)

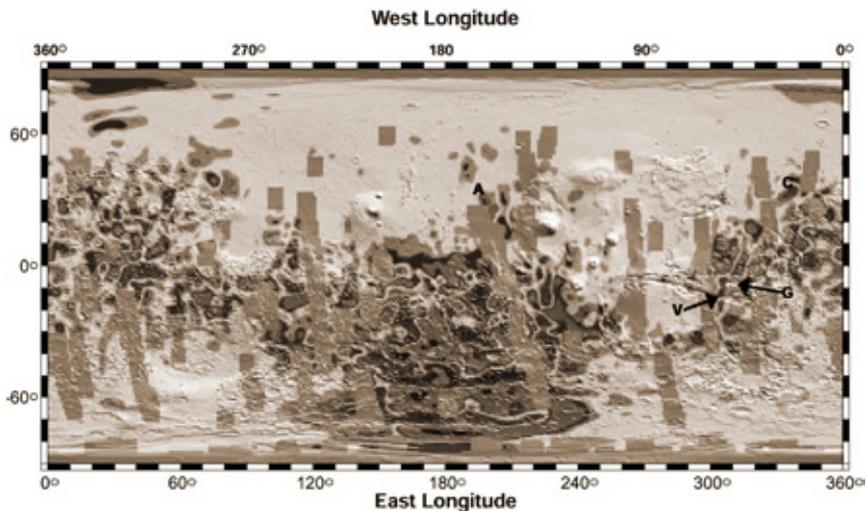


Рис. 8. Карта Марса с указанием расположение магнитных аномалий (чёрно-белый вариант рисунка с сайта <http://astro.wsu.edu/worthey/astro/html/lec-mars.html>)