

МИХАИЛ ИВАНОВИЧ ВЕРИГИН (01.01.1948–29.11.2019)



29 ноября 2019 г. от тяжелой болезни скончался ведущий научный сотрудник ИКИ РАН, заведующий лабораторией Межпланетной и околопланетной плазмы Михаил Иванович Веригин.

После окончания МФТИ в 1971 г. М.И. Веригин начал работу в лаборатории К.И. Грингауза и очень быстро стал лучшим специалистом по обработке данных космических экспериментов. Он всегда придумывал неординарные способы обработки. В 1972 г. началась программа измерений магнитосферной и внемагнитосферной плазмы с помощью высокоапогейных спутников Прогноз. По данным спутников Прогноз и Прогноз-2–6 были подробно изучены положения магнитопаузы и ударной волны около Земли при различных условиях в солнечном ветре. Позднее необычно высокая орбита Прогноза-9 (Реликт 1, 1983 г.), обеспечила получение надежных данных о зависимости скорости солнечного ветра от углового расстояния до межпланетного токового слоя, впоследствии подтвержденной в экспериментах на европейском внеэклиптического космическом аппарате Улисс (Ulysses).

На основе измерений с помощью широкоугольных ловушек заряженных частиц на первых околовенерианских спутниках Венера 9, 10 в 1975 г. был обоснован немагнитный характер препятствия солнечному ветру у этой планеты, открыт

ранее неизвестный основной источник ионизации ночной ионосферы этой планеты. Сопоставление высотных профилей концентрации электронов в ночной ионосфере Венеры по данным радиозатменных экспериментов и профилей, рассчитанных по измеренным спектрам высыпавшихся магнитосферных электронов, привело к выводу о том, что ранее предполагавшаяся концентрация нейтрального газа в ночной атмосфере планеты завышена на два порядка величины, что впоследствии было подтверждено прямыми измерениями на спутнике Пионер–Венера (Pioneer–Venus Orbiter).

В 1978 г. Михаил Иванович защитил кандидатскую диссертацию “Исследование взаимодействия потоков солнечной плазмы с Венерой при помощи спутников Венера-9 и Венера-10 (По данным широкоугольных плазменных анализаторов)” по специальности “Экспериментальная физика”.

В 1986 г. комета Галлея пролетала достаточно близко от Земли и впервые для исследования около кометного пространства были запущены космические аппараты России, США и Японии. Российский аппараты Вега-1 и 2 первыми приблизились к комете и пролетели через голову кометы Галлея. Был выполнен широкий комплекс плазменных измерений непосредственно в кометной коме. Первые локальные измерения концентрации кометного газа были представлены на совещании научной общественности в ИКИ на следующий день после пролета Веги-1. В солнечном ветре была обнаружена уникальная ударная волна, формирующаяся в результате нагружения потока кометными ионами. Было установлено, что солнечный ветер заметно тормозится перед ударной волной. По этому эффекту торможения Михаил Иванович смог оценить скорость потерь водяного пара с поверхности ядра кометы как $\approx 1.3 \times 10^{30}$ молекул/с или ≈ 40 тонн/с. Ближе к кометному ядру в кометошите, в постепенно тормозящемся потоке плазмы была открыта не предсказанная теоретически неожиданно резкая граница – кометопауза, внутри которой расположена область кометной плазмы. Эти термины, введенные при описании результатов эксперимента Плазмаг 1, широко распространены в настоящее время.

В 1988 г., в связи с достижением существовавшего в то время предельного возраста, К.И. Грин-

гауз отошел от официального руководства лабораторией исследований межпланетной и околопланетной плазмы, и ее заведующим был избран М.И. Веригин.

В том же 1988 г. с Байконура по направлению к Марсу были запущены два космических аппарата — Фобос-1, -2. Первый из них был вскоре (1 сентября 1988 г.) потерян из-за ошибки управления. Второй космический аппарат 29 января 1989 г. благополучно был выведен на орбиту спутника Марса и проработал там около двух месяцев. Эксперименты на спутнике Марса Фобос-2 подтвердили существование плазменных областей и границ, обнаруженных предшествующими экспериментами, и дополнительно открыли существование необычного, сформированного тяжелыми ионами, преимущественно однозарядными ионами кислорода, плазменного слоя в хвосте марсианской магнитосферы. Михаилом Ивановичем была оценена скорость потерь атмосферы планеты через плазменный слой $\sim 150 \text{ г с}^{-1}$. Однако оказалось, что Марс теряет свою атмосферу гораздо быстрее другим способом. Было обнаружено, что перед околомарсианской ударной волной солнечный ветер тормозится, и это явление нельзя объяснить отражением ионов от ударной волны. Оно связано с нагружением солнечного ветра ионами планетного происхождения. Для описания эффекта нагружения солнечного ветра Михаил Иванович предположил, что плотность горячей кислородной короны Марса в 3 раза выше самых высоких модельных оценок. Позднее это предположение было подтверждено измерениями на спутнике МАВЕН (Mars Atmosphere and Volatile Evolution — MAVEN). Анализ обнаруженного эффекта торможения солнечного ветра позволил оценить верхний предел скорости потерь Марсианской атмосферы как $< 2.5 \text{ кг с}^{-1}$. Столь большая скорость атмосферных потерь приводит к диссипации планетной атмосферы за $\sim 3 \times 10^8$ лет и является очень важным эффектом ее эволюции.

В результате исследования зависимости размеров хвоста марсианской магнитосферы от динамического давления солнечного ветра выявлен гибридный характер Марсианской магнитосферы. При малых динамических давлениях $< 6 \times 10^{-9}$ дин/см² толщина хвоста уменьшалась пропорционально динамическому давлению в $-1/6$ степени — как у препятствия, созданного дипольным магнитным полем планеты. При динамических давлениях $> 6 \times 10^{-9}$ дин/см² толщина хвоста оставалась практически постоянной, что свидетельствовало о непосредственном взаимодействии солнечного ветра с верхней атмосферой планеты. Процессы ускорения ионов O^+ в плазменном слое хвоста марсианской магнитосферы также различны при малых и больших динамических давлениях. При малых давлениях корреля-

ция скорости ионов O^+ с величиной магнитного поля в нейтральном слое свидетельствует о преобладании ускорения ионов в результате их дрейфа поперек ареомагнитного хвоста, тогда как при больших давлениях преобладает ускорение ионов O^+ под действием натяжения магнитных силовых линий. Обнаружены вариации толщины магнитного хвоста планеты, создаваемые неоднородностями намагниченности ее коры. В своей последней работе по Марсу, представленной на 10 Московском международном симпозиуме по исследованиям Солнечной системы (10MS3), 7–11 октября 2019 г., Михаил Иванович нашел объяснение старым данным по магнитному полю около Марса, полученным Ш.Ш. Долгиновым на спутнике Марс-3 21 января 1972 г. Зарегистрированное повышенное магнитное поле было связано с пролетом над областями с высокой намагниченностью коры планеты.

В 1996 г. Михаил Иванович защитил докторскую диссертацию “Экспериментальные исследования взаимодействия солнечной плазмы с атмосферами немагнитных или слабо магнитных тел солнечной системы” по специальности “Гелиофизика и физика солнечной системы”.

В 2000-х годах Михаил Иванович много занимался моделированием положения околоземной магнитопаузы и ударной волны. Он разработал метод физического моделирования, основанный на теоретических уравнениях. Эти уравнения с небольшим числом свободных параметров использовались для описания экспериментальных данных и тем самым для определения этих параметров. Построенные аналитические модели легко использовать для описания различных явлений в околопланетном пространстве при любых условиях в солнечном ветре. В частности, построена аналитическая модель положения и формы газодинамической ударной волны, образующейся около препятствия произвольной формы и применимая для любого числа Маха. В рамках магнитной газодинамики получено точное аналитическое решение задачи определения асимптотического конуса Маха при произвольных параметрах набегающего потока. Предложены аналитические модели околоземной и околомарсианской магнитопауз и модели положения и формы отошедших ударных волн, образующихся около Земли и около Марса.

Михаил Иванович внес существенный вклад и в исследования плазмосферы Земли. Он сформулировал задачу и предложил способ построения модели плазмосферы. В результате была разработана основанная на физических принципах полуэмпирическая трехмерная модель плотности протонов, позволяющая восстановить распределение плазмы во всей плазмосфере Земли для спокойных геомагнитных условий по измерениям заря-

женных частиц вдоль одной орбиты спутника. Модель основана на экспериментальных данных прибора АЛЬФА-3, работавшего на космическом аппарате ИНТЕРБОЛ-1, и теоретических выражениях, описывающих распределение плазмы в плазмосфере для случаев теплового равновесия и бесстолкновительного начального частичного заполнения плазмосферных оболочек.

Михаил Иванович Веригин был очень разносторонним ученым и какой бы областью физики космической плазмы он не занимался, ему всегда удавалось получить новые интересные результаты. Он всегда предлагал новые идеи, интересную и грамотную интерпретацию, полученных из космоса данных. Отличная теоретическая подготовка позволила ему делать правильные выводы о процессах в околопланетном пространстве на основе очень ограниченных измерений. Михаил Иванович является автором или соавтором около 200 печатных работ, многократно докладывал оригинальные и приглашенные обзорные работы

на российских и зарубежных научных конференциях. В 1997 г. награжден медалью “В память 850-летия Москвы”, в 1999 и 2005 гг. — почетными грамотами Президиума РАН. С 2003 г. являлся членом редколлегии журнала “Геомагнетизм и аэрономия”.

Михаил Иванович был чутким и деликатным руководителем коллектива, сумевшим сохранить традиции и дух лаборатории К.И. Грингауза. Он был энергичным, имел высокий авторитет среди коллег нашей международной кооперации и при этом оставался очень скромным и отзывчивым человеком, хорошим другом. Уход из жизни Михаила Ивановича Веригина — это большая утрата для всех нас.

Редколлегия журнала
“Геомагнетизм и аэрономия”

Коллеги и друзья, Г.А. Котова, В.В. Безруких,
Т.К. Бреус, Л.М. Зеленый (ИКИ РАН)