

К 275-ЛЕТИЮ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 532.5+533.6:531.52

**© 1999 г. СОВМЕСТНЫЙ X ЕВРОПЕЙСКИЙ И VI ВСЕРОССИЙСКИЙ
СИМПОЗИУМ "ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ В УСЛОВИЯХ
МИКРОГРАВИТАЦИИ"
15–21 ИЮНЯ, 1997, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

Фундаментальные и прикладные исследования в условиях микрогравитации ведутся, начиная с первых "технологических" экспериментов, выполненных на космических станциях, более 30 лет. В настоящее время эти исследования составляют существенную часть программ космических исследований и соответственно "полезной нагрузки" космических аппаратов, а также являются областью широкого международного сотрудничества, которое приобретает большое значение в связи с успешным запуском и стыковкой первых элементов Международной космической станции.

Обсуждение проблем микрогравитации регулярно проводилось на симпозиумах Европейского Космического Агентства (ESA) (Фраскатти 1972, 1974, Гренобль, 1979, Мадрид, 1981, Шлосс-Элмау, 1984, Оксфорд, 1989, Брюссель, 1992, Берлин, 1995) и Всесоюзных семинарах по гидромеханике, тепло- и массообмену в невесомости (Москва, 1979, Пермь, 1981, Черноголовка, 1984, Новосибирск, 1987, Пермь – Москва, 1991). Последний из них, проводившийся при активной поддержке ESA, имел международный характер.

Совместный симпозиум, продолжающий традиции этих форумов, явился важной вехой в развитии этого научно-технического направления. Это обусловлено подведением на нем итогов экспериментов, проводившихся космическими Агентствами различных стран на станции "Мир", развертыванием исследований на Международной космической станции и актуальной проблемой интеграции России в международное сотрудничество исследований по микрогравитации.

Симпозиум проведен под сопредседательством В.С. Авдуевского (РАН) и Н. Walter'a (ESA), сопредседатели научного комитета симпозиума – В.И. Полежаев (РАН), F. Rosenberger (США) и M. Velarde (Испания). В работе симпозиума, явившегося наиболее представительным из всех симпозиумов, проведенных в России по этой тематике, приняли участие ученые 17 стран. Сделано 177 научных докладов (151 устных и 26 стендовых), из которых около половины – учеными России и стран СНГ. Особенность симпозиума, нашедшая отражение в основной научной программе, – ориентация на фундаментальные исследования, которые обещают, хотя и не столь скоро, технологический прогресс в связи с освоением новой среды с уникальными свойствами в сравнении с земными. Эта тенденция выявилась в итоге 30-летних исследований, которые показали принципиальную возможность улучшения характеристик материалов, но обнаружили значительное влияние побочных и трудно контролируемых факторов, пока не позволяющих добиться воспроизводимости результатов.

Основная научная программа симпозиума была реализована в трех параллельных секциях. Первая из них – физика жидкости – самая обширная (48 устных докладов и 24 стендовых), представлявшая научную основу симпозиума, состояла из 7 подсекций. На работу этой секции существенное влияние оказали традиции российских гидродинамических школ Москвы, Новосибирска, Перми, Ростова, Санкт-Петербурга.

Наряду с углубленным изучением традиционных для гидромеханики невесомости объектов – равновесных форм и устойчивости "плавающих" жидких зон, пузырей, капля, смачиваемости, конвективных течений, обусловленных градиентами сил поверхностного натяжения, на этой секции значительное место занимали вопросы конвективной устойчивости, вибрационной конвекции, в том числе смесей, неоднородных (гранулированных) и реологически сложных сред (Г.З. Гершуни, В.Г. Козлов, Д.В. Любимов, Т.П. Любимова), а также моделирования течений в реальных условиях космического полета с учетом как стационарного, так и нестационарного вращения, влияния сил Кориолиса и др.

Обсуждались основы теории конвекции с учетом этих эффектов, в том числе отклонения в условиях микрогравитации от приближения Буссинеска (О.Н. Гончарова, В.В. Пухначев). Прецизионный эксперимент по определению краевого угла в невесомости, выполненный американскими учеными на станции "Мир" (P. Concus, R. Finn) представлял характерный современный эксперимент по физике жидкости. Вместе с тем для многих случаев оказываются эффективными интенсивно развивающиеся методы математического и физического (лабораторного) моделирования. Существенными являются выполненные в последние годы и продемонстрированные на этой секции работы по трехмерным нестационарным течениям в сочетании с методами конвективной устойчивости (В.И. Полежаев, Н.В. Никитин, С.А. Никитин). Это позволяет вплотную подойти к адекватному описанию специфики конвективных процессов в условиях микрогравитации и приступить к рассмотрению альтернативных микрогравитации управляющих воздействий (тепловых, динамических и электромагнитных) – новое, набирающее все больший темп направление исследований.

Вторая секция – рост кристаллов и процессы получения материалов – состояла из 7 тематических заседаний (51 устных, 2 стендовых доклада). Основным в работе этой секции было обсуждение результатов экспериментов по росту кристаллов, выполненных в условиях микрогравитации на станциях "Мир", "Спейс-Шаттл" и на беспилотных спутниках (Е.В. Марков, Т. Nishinaga, Т. Duffar, В.С. Земсков и др.). Анализ и интерпретация результатов этих экспериментов продолжалась с учетом новых факторов (термокапиллярные эффекты на поверхности расплава при не полном смачивании стенок ампулы, более полный учет реальной картины микроускорений и др.) и с помощью все более детально учитывающих эти факторы математических моделей, в том числе и трехмерных (А.В. Бунэ и др.).

Ряд докладов посвящен подготовке новых экспериментов с более тщательной их наземной отработкой с использованием физического моделирования (М.Г. Мильвидский и др.), а также исследованиям управляющих воздействий (В.Г. Косушкин) в реальном технологическом эксперименте и на специально оборудованном стенде. Характерной тенденцией является исследование новых методов выращивания кристаллов, ориентированных на применение в условиях микрогравитации, – метод погруженного нагревателя (А.Г. Острогорский), метод осевого теплового потока (В.Д. Гольшев, М.А. Гоник) и их математическое моделирование (Н.Г. Бурого, А.И. Федюшкин и др.). Рассматривалось также применение наземных вариантов направленной кристаллизации из тонких слоев для подавления гравитационной конвекции (Б.Г. Захаров и др., В.Г. Косушкин). На данной секции были представлены также доклады по применению других методов и материалов (получение сплавов, применение спекания), по исследованию теплофизических свойств, использованию космического вакуума (молекулярный экран).

Третья секция состояла из 5 тематических подсекций: фундаментальной физики

(11 докладов), биотехнологии (10 докладов), теплофизики и горения (10 докладов), остаточных микроускорений и гравитационной чувствительности (9 докладов) и космических экспедиций, оборудования и баз данных экспериментов в условиях микрогравитации (10 докладов).

На подсекции по фундаментальной физике основное место занимали исследования по гелию – одному из новых направлений, активно разрабатываемых в США. Этому вопросу был посвящен также пленарный доклад ведущего ученого в этой области G. Ahlers'a (США). Исключение гравитационных эффектов в космосе, искажающих результаты измерений в земных условиях, позволяют получить (хотя и весьма дорогой ценой) уникальные данные. Их примером являются значения теплоемкости гелия в лямда-точке, полученные на станции "Спейс-Шаттл" (J.A. Nissen и др.). Российские ученые (А.П. Крюков и др.) исследовали экспериментально и численно, на основе уравнений Больцмана, теплообмен в пленке гелия.

Из других направлений по фундаментальной физике отметим доклад по совместному российско-французскому эксперименту, выполненному на станции "Мир" (октябрь 1995 г.) космонавтом С.В. Авдеевым, по исследованию околокритических явлений в углекислоте и шестифтористой сере на французской аппаратуре Alice-1. Помимо подготовки базы данных с учетом измерений микроускорений с помощью двух акселерометров эта работа преследует также цель проверить адекватность описания механизмов гравитационной чувствительности с помощью уравнений конвекции сжимаемой околокритической среды.

На подсекции по биотехнологии центральными были работы по росту кристаллов белков – на сегодня наиболее успешное прикладное направление в исследованиях по микрогравитации, практически свернутое в России в связи с эмиграцией специалистов. Ему был посвящен пленарный доклад А.А. Чернова. Наряду с работами, в которых изложены результаты экспериментов, обращает внимание доклад F. Rosenberger'a, посвященный попытке дать объяснение полученным результатам. Помимо этого были представлены доклады по полимеризации, сепарации биологических частиц с помощью магнитных полей, электрофореза, гравитационной чувствительности клетки.

На подсекции теплофизики и горения были рассмотрены работы по кипению (Н. Merte, К. Sudzuki, Л. Бадратдинова) и конденсации (С.Г. Черкасов и др.), а также пожаробезопасности и получению материалов методом самораспространяющегося синтеза (А.Г. Мержанов и др.). Эти кажущиеся разнородными доклады объединены в одной подсекции в связи с общностью прикладных проблем (технические аспекты исследований по микрогравитации). Отметим определение критических тепловых потоков при кипении и серию недавних российских экспериментов на станции "Мир" по воспламенению различных материалов в рамках программы Мир-НАСА.

На подсекции остаточных микроускорений и гравитационной чувствительности рассмотрены работы по обработке и анализу микроускорений, их стандартизации, хранению, влиянию на "рабочие процессы", разработке демпфирующих средств, что является важнейшей частью сертификации космических аппаратов для всех видов "полезной нагрузки" по микрогравитации. Эти работы наиболее продвинуты в США благодаря созданию централизованной службы PIMS (Principal Investigator Microgravity Service). В последние 2 года благодаря постановке на борт станции "Мир" американского акселерометра "SAMS" была получена обширная информация, всесторонний анализ которой, ориентированный на прямое использование в компьютерных гидродинамических системах, дан в совместном со специалистами НАСА докладе В.В. Сазонова и др.

Близкая проблема влияния остаточных микроускорений на погрешности измерений коэффициентов диффузии ("конвективное загрязнение") обсуждалась и в докладе F. Rosenberger'a и др.

На подсекции космические экспедиции, оборудование и базы данных экспериментов в условиях микрогравитации – помимо докладов о разработках виброзащитных

систем, печей с визуализацией отметим сообщения германских специалистов, использовавших баллистическую ракету морского базирования ("Волна") для гидродинамических экспериментов, и германского космонавта R. Ewald'a о выполненных им экспериментах в полете на станции "Мир". Обзор российских экспериментов по получению материалов в условиях микрогравитации представлен в докладе P. Galloway и др.

В принятом коммюнике отмечены высокий профессиональный уровень организации и реализации научной программы симпозиума и его важная роль в развитии международного сотрудничества исследований по микрогравитации. Сопредседатель организационного комитета симпозиума Н. Walter (ESA), отметив достижения российских ученых, выразил надежду на то, что Россия будет участвовать в работе международной стратегической группы представителей космических агентств по микрогравитации (IMSPG). Сопредседатель научного комитета симпозиума В.И. Полежаев (РАН) отметил заслугу сопредседателей подсекций в создании деловой научной атмосферы симпозиума и их важную роль в экспертизе научных докладов, подготовленных к публикации¹.

Симпозиумом продолжена корректировка общей стратегии фундаментальных и прикладных исследований в области микрогравитации в России на современном этапе. Суть этой корректировки состоит в определении наиболее эффективных направлений работ, с учетом опыта кооперации с зарубежными партнерами и место отечественных исследований в кругу работ, ведущихся во всем мире. В этом отношении симпозиум имел большое значение для российских ученых из академических и отраслевых институтов, а также специалистов по космической технике в области полезных нагрузок, большая часть которых не имеет возможности постоянного участия в международных симпозиумах по этому профилю.

Симпозиум продемонстрировал возросший профессиональный уровень исследований, достигнутый благодаря разработке в последние годы необходимой для этого теоретической базы и положительных результатов совместных исследований, представляющих взаимный интерес. Последнее возможно благодаря большому опыту и пока еще сохраняющемуся достаточно высокому уровню российских работ и наличию в России значительного ракетно-космического потенциала. Однако эти предпосылки являются необходимыми, но не достаточными для успехов России, роль которой может быть утрачена из-за отсутствия необходимых организационных форм, стратегии будущих исследований в космосе и их финансовой поддержки.

В настоящее время космическими агентствами ведущих стран планируется широкий круг работ, связанных с явлениями, зависящими от силы тяжести, в том числе разработка и освоение международной космической станции, освоение с помощью роботов и непосредственно человеком Луны, Марса и других планет солнечной системы, развитие транспортных средств и даже планы космических путешествий, в которых важное место занимают биомедицинские исследования. Исследованиям по микрогравитации и международному сотрудничеству в них уделяется значительное место. Поэтому в российских исследованиях, связанных с микрогравитацией, должна учитываться как специфика национальных космических исследований, так и реальное положение нашей науки и техники в этой области. Необходима координация всего комплекса вопросов – фундаментальных, технических, технологических, биотехнологических и биомедицинских, связанных с микрогравитацией в национальных интересах России.

Следует уделять главное внимание обеспечению комплексного и непрерывного цикла исследований, опираясь прежде всего на опыт передовых российских ученых, у

¹ Труды симпозиума вышли из печати (под ред. В.С. Авдеевского и В.И. Полежаева) в 2 томах в декабре 1997 г. (см. Proceedings of the Joint Xth Europ. and Vth Russian Symposium on Physical Sciences in Microgravity. St. Petersburg, Russia, 15–20 June 1997, Eds. V.S. Avduevsky, V.I. Polezhaev, V.I. Fluid Physics, Fundamental Physics and Combustion, p. 430, V.II: Crystal Growth and Material Processing, Biotechnology, Residual Acceleration, Gravitational sensitivity analysis, Missions/Facilities/ Data Base of Microgravity Science p. 405).

которых, как показано на этом симпозиуме, есть достаточный запас оригинальных идей. Такой цикл исследований должен включать их концепцию и теоретическое обоснование, включающее альтернативы микрогравитации, наземное лабораторное и математическое моделирование, разработку бортовой аппаратуры, сопоставимой с наземным аналогом, проведение полетных измерений, направленных на сбор полной и контролируемой информации с последующим детальным анализом с помощью лабораторных и математических моделей. Только при такой постановке работ можно добиться взаимовыгодной кооперации, а в отдельных случаях и их самокупаемости на международном рынке научной продукции.

В заключение присоединимся к пожеланию сопредседателя организационного комитета симпозиума Н. Walter'a (ESA) об участии представителей России в работе Международной стратегической группы космических агентств по микрогравитации. Это дало бы возможность российским ученым осуществить интеграцию в международное сотрудничество исследований по микрогравитации и занять свое место в исследованиях на Международной космической станции.

В.С. Авдеевский, В.И. Полежаев

Зав. редакцией *Г.Н. Варшавская*

Технический редактор *Л.В. Каурова*

Сдано в набор 17.05.99 Подписано к печати 25.06.99 Формат бумаги 70 × 100 ¹/₁₆
Печать офсетная. Усл.печ.л. 15,6 Усл.кр.-отт. 5,8 тыс. Уч.-изд.л. 18,6 Бум.л. 6,0
Тираж 368 экз. Зак. 2626

Адрес редакции: 117526, Москва, В-526, проспект Вернадского, 101
Телефон 434-22-21

Отпечатано в типографии "Наука", 121099, Москва, Шубинский пер., 6