

## PERSONALIA

## Лев Матвеевич Зелёный

(к 70-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60.+q

23 августа 2018 г. исполняется 70 лет Льву Матвеевичу Зелёному — видному учёному в области физики космической плазмы, физики солнечно-земных связей, нелинейной динамики, исследования планет, блестящему теоретику, академику Российской академии наук (РАН), научному руководителю Института космических исследований (ИКИ) РАН, члену Президиума РАН, действительному члену Международной академии астронавтики, иностранному члену Национальных академий наук Украины и Болгарии (2008), доктору физико-математических наук, заслуженному профессору Московского физико-технического института (МФТИ) и почётному члену Физико-технического института (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе.

Почти всю свою жизнь Лев Матвеевич отдал работе в ИКИ РАН, в котором он прошёл путь от аспиранта до директора института. Он является высоко цитируемым учёным с мировым именем и признанными результатами.

Лев Матвеевич Зелёный родился 23 августа 1948 г. в Москве. В 1966 г. закончил знаменитую физико-математическую школу № 444 и поступил в МФТИ. Будучи студентом, проходил практику в Научно-исследовательском институте тепловых процессов (НИИТП — ныне "Центр Келдыша"), где начал заниматься ядерными ракетными двигателями. В 1969 г. его, студента 4 курса, пригласили на новую кафедру "Космическая физика", которая начала готовить кадры для созданного постановлением Совета Министров СССР от 15 мая 1965 г. ИКИ АН СССР (теперь ИКИ РАН). По плану Президента АН СССР академика М.В. Келдыша этот новый институт должен был стать головным по проведению всех научных исследований в космосе.

Закончив в 1972 г. с красным дипломом факультет аэрофизики и космических исследований МФТИ, Лев Зелёный пришёл работать в ИКИ. Вначале, под руководством Леонида Львовича Ваньяна (основателя кафедры космической физики в МФТИ), он решал теоретические задачи по электродинамике. Однако растущий глубокий интерес к космической физике привёл его к Альберту Абубакировичу Галееву, ставшему тогда заведующим отделом физики космической плазмы, под руководством которого в 1977 г. Лев Зелёный успешно защитил кандидатскую диссертацию по теме "Плазменные процессы в магнитосфере Земли". Талантливый молодой сотрудник стал одним из немногих учеников академика Галеева, с которым его связали годы совместной плодотворной работы и дружеских отношений. Зелёный и Галеев написали два десятка статей, одна из них, опубли-



Лев Матвеевич Зелёный

кованная в *Журнале теоретической и экспериментальной физики (ЖЭТФ)* в 1976 г., стала поистине знаменитой: в ней было доказано, что токовые слои — магнитоплазменные структуры в хвосте магнитосферы Земли — являются метастабильными, т.е. они могут длительное время накапливать большие запасы магнитной энергии, а потом разрушаться, взрывным образом высвобождая её. В кандидатской диссертации Льва Зелёного это свойство токовых слоёв в космической плазме было доказано и исследовано в широкой области параметров.

Постепенно Лев Матвеевич начал работать в физике плазмы самостоятельно, у него появились первые собственные ученики, многие из которых стали известными учёными и успешно работают в разных странах мира. В 1980-е годы началась подготовка четырёхспутникового международного проекта ИНТЕРБОЛ по изучению

ключевых механизмов взаимодействия магнитосферы Земли с солнечным ветром (с участием учёных из 20 стран). Будучи теоретиком, Лев Зелёный, тем не менее, стал участвовать в подготовке проекта, в том числе в обосновании и планировании экспериментальных задач. С 1992 по 2002 гг. он являлся научным координатором проекта ИНТЕРБОЛ и заместителем научного руководителя программы. Впоследствии ИНТЕРБОЛ (спутники были запущены в 1995 и 1996 гг.) стал одним из наиболее удачных космических проектов ИКИ РАН как по информативности наблюдений, так и по количеству открытий. В 1987 г. Л.М. Зелёный защитил докторскую диссертацию и в 1989 г., после того как А.А. Галеев был избран на пост директора института, возглавил отдел физики космической плазмы — самый большой тогда отдел в ИКИ. На этом посту он сумел сплотить коллектив отдела и способствовал его выживанию в тяжёлых условиях 1990-х годов и скудного финансирования науки. С 2002 по 2017 гг. Лев Матвеевич возглавлял ИКИ РАН, в настоящее время он является его научным руководителем. В эти годы Институт получил новый импульс в развитии, сформировались новые направления, ИКИ упрочил своё лидирующее положение в российской и международной науке, в космических программах.

Л.М. Зелёный играет ключевую роль в организации фундаментальных космических исследований в России и за рубежом. С 2013 по 2017 гг. он руководил Советом РАН по космосу. В настоящее время он является заместителем председателя Совета, членом президиума Научно-технического совета (НТС) "Роскосмоса", руководителем Межведомственной экспертной комиссии по космосу, а также научным руководителем российской "Лунной программы" (Луна 25–28), проекта "Резонанс" и российской части проекта поиска следов жизни на Марсе — "ЭкзоМарс".

В 1997–2000 гг. Л.М. Зелёный был председателем рабочей группы по космической физике консультативного Совета космических агентств США, Японии, Европы и России (IACG). С 2006 по 2014 гг. являлся национальным представителем России и членом бюро Международного комитета по космическим исследованиям (COSPAR). Л.М. Зелёный — член управляющих комитетов Международного космического института (ISSI) в Берне (Швейцария) и Международной академии астронавтики (IAA). Он один из ведущих членов РАН — организаторов российской науки. В 2003 г. Л.М. Зелёный был избран членом-корреспондентом РАН, в 2008 г. — академиком РАН, а с 2013 по 2017 гг. был вице-президентом РАН. В настоящее время он член Президиума РАН и бюро Отделения физических наук РАН. С момента образования Российского научного фонда Л.М. Зелёный является членом его наблюдательного совета, с 2017 г. он член кадровой комиссии Совета по науке при Президенте РФ.

Л.М. Зелёный — главный редактор журнала *Земля и Вселенная*, член редколлегии журнала *Природа*, с 1992 по 2010 гг. член редколлегии журнала *Journal Geophysical Research — Space Physics*, с 2002 по 2009 гг. — журнала *Nonlinear Processes in Geophysics*. С 2015 г. является членом редакционных советов журналов *Успехи физических наук (УФН)* и *Вестник РАН*. Хочется дополнительно отметить тесные связи юбиляра с *УФН*. В различные годы его итоговые *УФН*-овские обзоры сумми-

ровали научные результаты Л. Зелёного и его коллег, а обзор "Квазиadiaбатическое описание динамики заряженных частиц в космической плазме" был отмечен премией *УФН* за 2013 г.

За активную научную, преподавательскую и организаторскую деятельность Лев Зелёный удостоен многих наград. В 1993 и 1997 гг. он был удостоен Государственной стипендии в рамках поддержки выдающихся учёных РФ. В 1999, 2000 и 2010 гг. циклы его публикаций в журналах "МАИК-Наука" награждались премиями издательства. В 1999 г. им была получена премия Международного научного фонда имени А. Гумбольдта, в 2003 г. — премия Президента РФ в области образования. В 2004 г. за развитие международного сотрудничества был награждён правительством Польши Офицерским крестом, в 2008 г. — почётным знаком Федерального космического агентства. В 2010 г. Л.М. Зелёный получил награду Международной академии астронавтики за достижения в теории космической плазмы. В 2016 г. Л.М. Зелёный стал лауреатом одной из наиболее престижных наград COSPAR: "За развитие международного сотрудничества в космических исследованиях".

Профессор (с 1995 г.) Зелёный ведёт обширную преподавательскую деятельность. С 1978 г. он читает факультетский курс лекций "Физика плазмы" студентам факультета проблем физики и энергетики (ФПФЭ) МФТИ, с 2003 г. возглавляет кафедру "Космическая физика". Под его руководством были защищены две докторские и десять кандидатских диссертаций. Лев Зелёный внёс весомый вклад в развитие ФПФЭ и системы Физтеха в целом, в расширение связей между МФТИ и ИКИ РАН. Благодаря его постоянному вниманию и поддержке успешно функционирует расположенный на территории ИКИ РАН Московский корпус ФПФЭ, который является основной базой факультета. В 2017 г. под руководством Л.М. Зелёного создана новая кафедра космической физики на факультете физики Высшей школы экономики.

Лев Матвеевич Зелёный — автор более 500 научных трудов. Его работы охватывают широкий круг задач в физике космической плазмы. Решение задачи о метастабильном характере устойчивости токовых слоёв в магнитосфере Земли расставило точки над "и" в многолетних ожесточённых теоретических спорах о развитии разрывной моды в токовых слоях как триггера глобальных магнитосферных возмущений, суббурь, что позволило объяснить происходящие в магнитосфере процессы преобразования и переноса энергии. Были сформулированы критерии метастабильности хвоста магнитосферы Земли, определяющие начало магнитного пересоединения во время суббурь. Была разработана детальная теория спонтанного пересоединения магнитных полей в горячей космической плазме и связанного с ним мощного ускорения частиц.

Лев Матвеевич вместе с академиком А.А. Галеевым и своими учениками — М.М. Кузнецовой (ныне сотрудником Годдардовского центра космических полётов НАСА, США) и А.В. Миловановым (сотрудником ИКИ и Национального института новых технологий в Риме) сформулировали ряд фундаментальных проблем в области хаотической динамики магнитных полей и её роли в переносе и ускорении частиц космической плазмы. Так, была решена задача о характере проникновения частиц солнечного ветра внутрь магнитопаузы Земли. Концеп-

ции стационарного пересоединения, господствовавшие в то время, сменились концепциями пульсирующего, динамичного пересоединения. Созданная Л.М. Зелёным теория "просачивания" магнитных полей (переноса магнитного потока) через границу планетарной магнитосферы смогла объяснить разбиение первоначально гладкой магнитной поверхности с токами, текущими вдоль магнитопаузы (границы магнитосферы Земли), на хаотические токовые нити благодаря развитию системы перекрывающихся магнитных островов. Этот процесс, в свою очередь, может приводить к тому, что между хаотически расположенными магнитными фрагментами могут беспорядочно блуждать линии магнитного поля солнечного ветра, пересоединённые с магнитосферным полем. Подобные процессы "броуновского" движения линий магнитного поля через магнитный переходный слой позволили объяснить ведущую роль стохастических механизмов проникновения плазмы солнечного ветра внутрь магнитосферы Земли, определяющих энергетику солнечно-земных связей. Интересно, что позже исследования Меркурия на американском аппарате "Messenger" подтвердили, что те же самые механизмы работают и в этой экзотической магнитосфере.

Методами фрактальной топологии были найдены механизмы поддержания квазиравновесных турбулентных токовых слоёв, образующихся в результате нелинейного развития и насыщения неустойчивых плазменных мод. Этот режим получил название неравновесного (квази)стационарного состояния (НСС), которое характеризует устойчивое состояние открытой турбулентной токовой системы за счёт многомасштабных корреляций в пространстве и во времени. В контексте построенной теории найдено универсальное значение спектральной размерности НСС, которое несёт важную информацию о кинетике турбулентного ансамбля и существенно расширяет возможности аналитического описания плазменной турбулентности в целом.

Огромный вклад в космическую науку внесли работы Льва Матвеевича по разработке принципиально нового квазиadiaбатического подхода к исследованию сравнительно недавно открытых магнитоплазменных структур (тонких токовых слоёв) в космосе, масштабы неоднородности которых сопоставимы с гирорадиусами протонов. Фактически была создана новая теория динамики заряженных частиц в слабых магнитных полях (лишь в среднем контролирующая их движение), альтернативная классической теории ведущего центра. Первые работы в этом направлении были опубликованы в конце 1980-х гг. совместно с известным немецким учёным Йоргом Бюхнером, ныне профессором Берлинского университета и с 2018 г. почётным профессором Московского государственного университета (МГУ). Мощное развитие эти теории получили в начале 1990-х гг. во время работы Л. Зелёного и Й. Бюхнера в Калифорнийском университете в группе космического моделирования, возглавлявшейся профессором М. Ашур-Абдаллой (1944–2016). Численное моделирование не только подтвердило основные предсказания теории, но и позволило обнаружить ряд дополнительных тонких эффектов.

Позднее вокруг академика Зелёного в ИКИ РАН сплотилась научная теоретическая группа, которая занялась развитием этой темы. На основе теории квазиadiaбатического движения частиц в сложных магнитных конфигурациях были построены теоретические модели

плазменных равновесий, позволившие понять внутреннюю структуру тонких токовых слоёв в космической плазме и провести сопоставление с экспериментальными данными. Благодаря развитию квазиadiaбатической теории в последние два десятка лет в работах Л. Зелёного и его коллег Х.В. Маловой и В.Ю. Попова предсказаны и подтверждены исследованиями *in situ* на десятках космических аппаратов, работавших у Земли, Марса, Венеры, Меркурия, нетривиальные характеристики тонких токовых структур: многомасштабность, метастабильность и вложенность. Раскрыта роль неadiaбатических эффектов в процессах ускорения направленных пучков ускоренных ионов (бимлетов) в хвосте магнитосферы Земли при взаимодействии с токовыми слоями. Найдены новые резонансные механизмы формирования и филаментации бимлетов в токовых слоях. Практически все предсказания теории нелинейной филаментации плазменных потоков вблизи магнитных сепаратрис были подтверждены при тщательном анализе многочисленных экспериментальных данных, проведённом Е.Е. Григоренко. Новая тема, недавно предложенная Львом Матвеевичем для исследования — о влиянии возможной магнитной инверсии (переворота направления магнитного дипольного поля Земли) на радиационную обстановку на Земле и в околоземном пространстве — после опубликования статьи в 2018 в УФН вызвала живейший интерес и обсуждения учёных. Большой интерес в последние годы Л. Зелёный проявляет и к исследованиям пылевой плазмы, особенно в применении к процессам в лунной экзосфере.

В последние десятилетия Л.М. Зелёный расширял область теоретических исследований, распространяя их на токовые слои в солнечном ветре, в магнитосферах планет, процессы магнитной инверсии на Земле. Данные темы трудны для исследований, поскольку имеется на порядок меньше количество наблюдательных данных (или вообще данные отсутствуют), по сравнению с хорошо изученной магнитосферой Земли. Львом Матвеевичем и его группой изучены процессы взаимодействия солнечного ветра с разными планетами: со слабым магнитным полем (Меркурий), не обладающими собственным магнитным полем (Венера, Марс), с сильными магнитными полями (Юпитер), с положением магнитного диполя полюсом навстречу солнечному ветру (Уран). Было показано, что квазиadiaбатическая теория, которая первоначально была разработана для объяснения наблюдательных данных в магнитосфере Земли, может быть успешно применена и для интерпретации наблюдательных данных в магнитосферах других планет. Было продемонстрировано глубинное единство форм и проявлений магнитоплазменных структур и процессов на разных космических масштабах — от отдельных областей магнитосферы Земли до масштабов солнечной системы и больше. Применяемые новые численные модели позволили оценить энергии ускорения частиц в планетных магнитосферах и ожидаемые в наблюдениях распределения частиц плазмы по энергиям.

Лев Матвеевич, достигший больших высот в науке, неизменно проявляет большую личную скромность и проповедует принципы коллективизма и преемственности в работе. В своих работах он всегда подчёркивает, что его результаты являются логическим продолжением научных идей С.И. Сыроватского и В.Л. Гинзбурга в области исследования космических лучей и пересоеди-

няющихся токовых слоёв в короне Солнца. Многочисленные научно-организационные обязанности всё-таки не смогли помешать его занятиям наукой, занимающей в его жизни огромное место.

Друзья, коллеги и многочисленные ученики Льва Матвеевича от души поздравляют его с юбилеем, желают ему крепкого здоровья и творческого долголетия, новых открытий и новых результатов и в физике космической плазмы, и в исследованиях Луны и планет.

*В.Г. Бондур, О.Л. Вайсберг, Е.Е. Григоренко,  
М.М. Котюков, В.Д. Кузнецов, М.М. Кузнецова,  
Х.В. Малова, М.Я. Маров, Г.А. Месяц,  
А.В. Милованов, М.И. Панасюк, А.С. Петросян,  
А.А. Петрукович, В.Ю. Попов, Р.З. Сагдеев,  
А.М. Сергеев, Б.В. Сомов, Р.А. Сюняев,  
Г.В. Трубников, В.Е. Фортков, А.Р. Хохлов*