

Монослера и распротрание  
высокоакустических полей

Нелинейная гидроакустика

Нестационарные и микроволновые  
процессы

Нелинейные волновые процессы

Космическое радиоизлучение

СДВ-зондирование

2015

РАДИОФИЗИКА





# АДИОФИЗИКА в СПбГУ

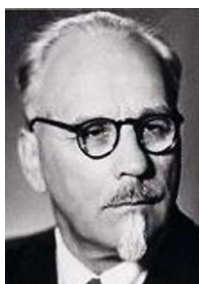
Кафедра радиофизики СПбГУ является одной из ведущих в России кафедр радиофизической направленности. Обучение на кафедре сочетает в себе фундаментальное общее физико-математическое образование, глубокое изучение физики волновых процессов и изучение ряда дисциплин, имеющих важное прикладное значение.



Глеб Иванович  
Макаров

Кафедра была организована в 1946 г. С 1957 г. на протяжении 40 лет кафедрой руководил заслуженный деятель науки Российской Федерации профессор Г.И. Макаров. Под его руководством кафедра стала одной из ведущих научных организаций в области распространения радиоволн. На кафедре работали многие выдающиеся ученые: А.Г. Остроумов (нелинейная акустика, электрогидродинамика), В.Н. Красильников (нестационарные волновые процессы в электродинамике, гранично-контактные задачи акустики), А.П. Молчанов (космическая радиофизика) и другие. За время своего существования кафедра радиофизики подготовила несколько тысяч выпускников, работающих во многих научных и научно-производственных организациях и университетах в России и других странах.

С 1998 г. и по настоящее время кафедрой руководит профессор Н.Н. Зернов. Кафедра участвует в реализации образовательных программ бакалавриата по направлению «Радиофизика» и магистратуры по направлениям «Физика» (со специализацией в области волновых процессов) и «Прикладная математика и физика» (со специализацией в области электрофизики).. Начиная с 3 курса, наряду с общеобразовательными предметами,



Георгий  
Андреевич  
Остроумов  
(1898 – 1985)

читаются специальные лекционные курсы по теории сигналов и информации, нелинейным волновым процессам, акустике, статистической радиофизике, волновым процессам в плазме и др. Теоретические курсы сопровождаются занятиями в нескольких учебных лабораториях. На кафедре широко представлено обучение «компьютерным» дисциплинам. Имеются современные дисплейные классы, в которых студенты могут приобрести навыки работы с популярными пакетами программ, предназначенными для решения разнообразных научных и инженерных задач. Дальнейшая специализация студентов происходит при обучении в магистратуре, где преподается более 30 различных дисциплин.

Каждое из направлений научной работы кафедры сочетает в себе как фундаментальные, так и прикладные аспекты. Вследствие этого наши выпускники легко адаптируются в самых разных областях, от чисто научной деятельности в институтах академии наук до работы в крупнейших компаниях сотовой связи, от преподавания в ведущих университетах до разработки современной аппаратуры в институтах прикладного профиля.

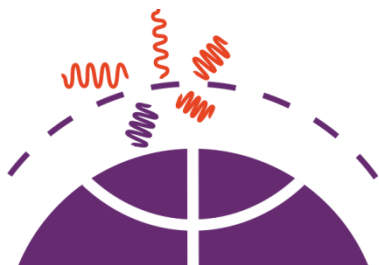
Кафедра имеет обширные международные связи, сотрудничает с международным центром теоретической физики Организации Объединенных Наций (Триест, Италия), рядом британских и американских университетов. Научные контакты также поддерживаются с рядом ученых из стран Европы, Азии и Америки. Сотрудники кафедры регулярно участвуют в престижных отечественных и международных конференциях, в качестве организаторов конференций, а также с пленарными, приглашенными и инициативными докладами. Кафедра ежегодно проводит Всероссийскую научную конференцию студентов-радиофизиков, в которой участвуют лучшие студенты из ведущих радиофизических центров России. Ниже дается краткая информация об основных направлениях научных исследований, проводимых в настоящее время в области радиофизики.



Владимир  
Николаевич  
Красильников  
(1932 – 2000)



Андрей Павлович  
Молчанов  
(1918-1996)



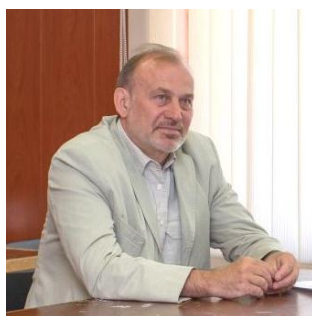
## Ионосфера и распространение высокочастотных полей

Мы занимаемся исследованиями в области распространения высокочастотных полей в ионосфере Земли. Под высокочастотными полями мы понимаем поля, имеющие рабочую частоту, начинающуюся, условно, от 10 мегагерц и простирающуюся до единиц и даже десятков гигагерц. На таких частотах работают станции КВ и УКВ диапазонов, спутниковые системы зондирования земных покровов, навигационные спутниковые системы, а также целый ряд других систем. Решающее воздействие на распространение электромагнитных волн указанных частот оказывает ионосфера Земли, представляющая собой слой квазинейтральной плазмы толщиной в несколько сотен километров с максимумом электронной плотности, расположенным на высотах порядка 300 км. Она характеризуется большим набором весьма изменчивых параметров разных пространственных и временных масштабов, и в ряде случаев требует стохастического рассмотрения. Нашими задачами являются экспериментальные и теоретические исследования как свойств ионосферы, так и свойств полей, распространяющихся в такой сложной неоднородной и, вообще говоря, анизотропной среде, в том числе, стохастические задачи теории распространения волн. Составной частью этой деятельности является также создание алгоритмов и их реализация в виде наборов компьютерных программ (компьютерных симуляторов), которые вместе позволяют воспроизводить (моделировать) реальные сигналы, распространяющиеся в/сквозь реальную ионосферу. Симуляторы необходимы как для создания новых, так и в интересах совершенствования уже разработанных радиотехнических систем.

Из сказанного должно быть понятно, какой широкий круг знаний необходим специалисту, заинтересовавшемуся указанным кругом задач. Для квалифицированной работы в этой области ему понадобятся глубокие знания в области физики (ионосферной) плазмы и в области теории распространения электромагнитных волн (общей теории волновых процессов), базирующейся на фундаментальных принципах электродинамики и глубоких познаниях в области методов математической физики, а также численных методов. Кафедра радиофизики обеспечивает этот круг знаний при условии ответственного и заинтересованного участия студентов в процессе обучения. В частности, кафедра располагает значительным набором современного оборудования для экспериментальных исследований в описанной области (ионосферная станция, современные КВ приемники и приемники (мониторы) спутниковых навигационных сигналов и др.)



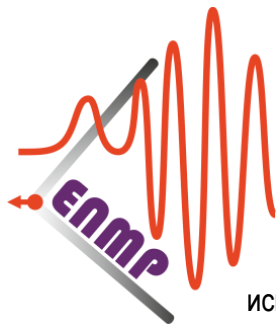
Николай Николаевич Зернов  
Заведующий кафедрой  
Руководитель лаборатории  
Корпус «Л», 3 этаж, каб. 306.  
Тел.: 4287289, 4284354  
E-mail: zernov@phys.spbu.ru



Вадим Эдуардович Герм  
корпус «Л», 3 этаж, каб. 308  
Тел.: 4287289  
E-mail: ghermspb@gmail.com



Николай Юрьевич Заалов  
корпус «Л», 4 этаж, каб. 407  
Тел.: 4284311, +79213036142  
E-mail: nzaalov@gmail.com



## Нестационарные и микроволновые процессы

Мы занимаемся разнообразными процессами излучения заряженных частиц и многими другими родственными проблемами. Процессы излучения электронов, протонов и других заряженных частиц играют важнейшую роль в природе и технике. В вакууме излучение генерируется, только если частица испытывает ускорение (тормозное и синхротронное излучение). Однако в разнообразных средах и искусственных структурах генерации излучения способствуют и другие факторы, такие, как достаточно большая скорость частицы (излучение Вавилова-Черенкова) и неоднородности среды (переходное излучение). Два последних эффекта исследуются в Лаборатории электродинамики нестационарных и микроволновых процессов (ЛЭНМП) особенно пристально. Их исследование проводится методами, характерными для радиофизики, а приложения лежат в самых разных областях, таких, как физика ускорителей, электроника СВЧ и даже медицина.

Зачастую исследование процессов излучения приводит к необходимости построения электродинамических моделей рассматриваемых структур и развития методов анализа электромагнитных полей. Такие вопросы также лежат в поле зрения сотрудников лаборатории. Мы нередко сталкивались с новыми или малоизвестными эффектами. Среди них обратное черенковско-переходное излучение, нерасходящееся излучение в некоторых метаматериалах, эффект фокусировки черенковского излучения с помощью «концентратора излучения» нового типа и другие.

Основными направлениями исследований лаборатории в настоящее время являются:

- излучение движущихся заряженных частиц и других движущихся источников в естественных и искусственных средах (излучение Вавилова-Черенкова, переходное излучение, излучение движущихся осцилляторов);
- излучение пучков частиц в волноведущих структурах;
- электродинамика периодических структур и метаматериалов;
- новые методы ускорения и диагностики пучков заряженных частиц;
- электродинамика движущихся сред.

Мы используем аналитические методы, развитые в математике, математической физике и электродинамике. Однако мы всегда стремимся получить результаты в форме, позволяющей описать физические эффекты наиболее ярким и наглядным образом. Поэтому применение современных компьютерных технологий также является одним из основных аспектов нашей работы.



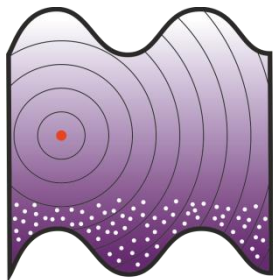
Андрей Викторович Тюхтин  
Руководитель лаборатории  
Корпус «И», 5 этаж, каб. 510.  
Тел.: 4284344  
E-mail: tyukhtin@bk.ru



Сергей Николаевич Галамин  
Корпус «И», 5 этаж, каб. 509.  
Тел.: 4284344, +7(921)3826128  
E-mail: galiaminsn@yandex.ru



Татьяна Юрьевна Алехина  
Ученый секретарь кафедры  
Корпус «Л», 3 этаж, каб. 303.  
Тел.: +7(921)9350298  
E-mail: tanya@niirf.spbu.ru



## Нелинейная гидроакустика

Акустика изучает упругие и вязкие волны в веществе. Эти волны представляют собой движение материальных частиц самого вещества. Поэтому описывающие это волновое движение уравнения нелинейные – сами материальные частицы вещества при своих колебаниях относительно начального положения с этим же веществом взаимодействуют. Результатами этого взаимодействия в жидкостях и газах являются образование ударных волн, массоперенос (акустические течения), разрушение сплошности жидкости (кавитация), искажение, перемещение и разрушение границ раздела фаз (радиационные напряжения). Этими явлениями можно управлять, подбирая среды с желаемыми нелинейными и диссипативными свойствами (уравнения состояния), а также тип и частоту акустической волны.

Линейные и нелинейные акустические волны окружают человека с рождения и повсеместно. Человек обладает весьма совершенным акустическим прибором (ухом) в звуковом диапазоне, человек любит красиво звучащие звуки, для этого он создает хорошую звуковую аппаратуру и концертные залы. Человек использует акустические волны в ультразвуковом диапазоне, чтобы увидеть невидимое (дефектоскопия, гидролокация, медицинская диагностика). Человек использует акустические волны разных частот, чтобы изменить состояние или структуру вещества (химические технологические процессы, терапия, хирургия, получение материалов с заданными свойствами).

Поскольку упомянутые нелинейные эффекты описываются системой нелинейных уравнений, то их аналитическое описание, как правило, затруднено. Для их исследования в нашем коллективе используются экспериментальные методы и численное моделирование, опирающееся на эксперимент. Всему интересному, открывающемуся в результате исследования, мы учимся сами и приглашаем учиться студентов.



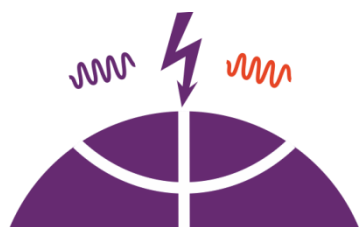
Григорий Александрович Дружинин  
корпус «Л», 2 этаж, каб. 204.  
E-mail: gd45gd@gmail.com



Наталья Глебовна Семенова  
корпус «Л», 2 этаж, каб. 204.  
E-mail: tatubakamena@rambler.ru



Борис Евгеньевич Грачев  
корпус «Л», 2 этаж, каб. 204.  
E-mail: bgrach@rambler.ru



## Зондирование молниевых разрядов

Мы занимаемся теоретическими и экспериментальными исследованиями импульсного электромагнитного излучения сильноточных молниевых разрядов в ИНЧ-ОНЧ-НЧ диапазонах, особенностей его трансформации при распространении в различных средах. Решение прикладных задач, связанных с обнаружением, местопределиением, трассированием грозовых очагов в реальном времени с оценкой текущего состояния грозовой активности и краткосрочным прогнозом будущего развития.



Игорь Иванович Кононов  
Корпус «Л», 5 этаж, каб. 516.  
Тел.: 4284357  
E-mail: Igor\_Kononov@mail.ru



## Космическое радиоизлучение

Мы занимаемся проблемами космической радиофизики, а точнее радиофизики Солнца. В нашей лаборатории имеется учебный радиотелескоп с современным радиометром и компьютерной системой регистрации. Наше научное направление тесно связано с астрофизикой (куда входит и космическая радиофизика), а также с практическими направлениями космической радиофизики – радиоастрометрией, навигацией по Солнцу и космическим источникам. Наши студенты осуществляют тесное взаимодействие со Специальной Астрофизической Обсерваторией (САО), в ведении которой находится крупнейший российский радиотелескоп РАТАН-600, где есть современное оборудование, развитые компьютерные технологии, передовая наука. Для успешных студентов имеется возможность распределения в 4 академических института и 3 лаборатории в университетах.

В настоящее время и ближайшее будущее нас будут интересовать следующие направления радиофизики Солнца:

- физика активных областей (топология магнитного поля, высотная структура, пекулярные источники);
- генерация и излучение субрелятивистских частиц во время солнечных вспышек (переходное и гиротронное излучение, плазменные волны);
- солнечно-земные связи и проблема космической погоды (прогнозирование солнечных вспышек, связь солнечной активности с биосферой Земли).



Леонид Васильевич Яснов  
Руководитель лаборатории  
Корпус «Л», 5 этаж, каб. 523.  
Тел.: +7(905)2127015  
E-mail: [Yasnov@pobox.spbu.ru](mailto:Yasnov@pobox.spbu.ru)



## СДВ-зондирование атмосферы

Релятивистские электроны в ближнем космосе представляют реальную угрозу для твердотельной электроники, используемой на телекоммуникационных спутниках Земли и космических кораблях. Космическая практика зафиксировала немалое число случаев выхода из строя указанных систем. Мониторинг потоков релятивистских электронов с энергией ~10 эВ проводится на спутниках более 20 лет, но радиофизический теоретический и численный анализ экспериментальных данных академического Полярного Геофизического Института (ПГИ, г. Апатиты, Мурманская область) показал, что выше 61 градуса магнитной широты иногда в атмосферу вторгаются ультрарелятивистские электроны с энергией в 10 раз больше. Они тормозятся на высоте ~40 км и эффективно генерируют тормозной рентген. Последний ионизирует более низкие слои атмосферы в масштабе ~30 км и эффективная высота отражения сверхдлинных радиоволн (СДВ, 3-30 кГц) «проваливается» вниз с 60 км (днем) и 75 км (ночью) до 35 и более км. Появляется короткоживущий (несколько часов) дополнительный (спорадический) слой ионосферы. Пространственный масштаб этого явления по широте не менее нескольких градусов, а по долготе – до 8 часовых поясов. За всю историю радиофизики ничего подобного ранее не наблюдалось.

Исходные радиофизические данные ПГИ представляют собой многолетние (1982-1992 гг.) непрерывные многочастотные измерения вариаций амплитуд и фаз на земле от 2-х наземных радиомаяков. Одна радиотрасса была целиком высокоширотной (Северная Норвегия – Кольский п-ов), вторая трасса – частично высокоширотной (Великобритания – Кольский п-ов).



Георгий Федорович Ременец  
Корпус «Л», 2 этаж, каб. 205.  
E-mail: [g.remenets@spbu.ru](mailto:g.remenets@spbu.ru)



## Нелинейные волновые процессы

Колебательные и волновые процессы встречаются в самых разнообразных ситуациях повседневной жизни и составляют предмет изучения различных научных дисциплин, причем не только естественнонаучных, но и экономических и гуманитарных. Раскачка качелей, волны на морской поверхности, телетрансляция и навигация так или иначе связаны с такими процессами, являются как источником задач для теоретического анализа, так и объектом приложений методов и выводов теории колебаний и волн. Нелинейность является неотъемлемым свойством реального процесса, линейное описание получается вследствие линеаризации исходной модели вблизи какого-либо фиксированного состояния или движения изучаемой системы. Хорошо известен такой физический объект, как плоская монохроматическая волна. Реальная же волна не бывает безграничной в пространстве и времени и не может быть монохроматической, кроме того, монохроматическая волна бесполезна для передачи информации, поскольку информация передается исключительно при изменении какой-либо величины. Все это требует особого внимания к локализованным волновым процессам, когда решение соответствующих модельных уравнений отличается от константы лишь в ограниченных промежутках по координатам и времени. В основе анализа сосредоточенных волн лежат асимптотические методы, позволяющие решать задачи для возмущенных уравнений и для неоднородных сред. Последовательное применение асимптотических процедур позволяет выводить выражения для важнейших характеристик волнового процесса в рассматриваемой физической задаче.

Нелинейные волновые процессы наблюдаются не только в лабораторных условиях, но и в природных средах. Сейсмические явления и взрывы с выделением большой энергии приводят к возникновению нелинейного воздействия на атмосферу и ионосферу Земли. В простой идеализации впервые такая задача рассматривалась Л.Д. Ландау в статье 1945 г. «Об ударных волнах на далеких расстояниях от места их возникновения». Влияние многих существенных факторов при этом не учитывалось. Благодаря уменьшению плотности атмосферы при перемещении волны вверх происходит увеличение амплитуды, начинает влиять вязкость атмосферы.



Михаил Александрович Бисярин  
Корпус «Л», 5 этаж, каб. 522.  
Тел.: 4284357  
E-mail: m.bisyarin@spbu.ru

В последнее время уделяется значительное внимание проблеме уменьшения сопротивления сверхзвуковых и гиперзвуковых объектов за счет использования плазменных технологий. Возникает проблема выяснения закономерностей взаимодействия сильной ударной волны с плазменными компонентами. Проявление влияния нелинейности существенно более богато, чем в случае процессов малой амплитуды. Поучительным примером является эффект обратного движения катодного пятна при вакуумном дуговом разряде в магнитном поле, направленном касательно к поверхности. Эффект был открыт Штарком в 1903 г. Пятно движется в направлении, противоположном магнитной силе, действующей на ток. Удовлетворительного, даже качественного, объяснения эффекта нет до сих пор!



Валерий Андреевич Павлов  
Корпус «Л», 2 этаж, каб. 201.  
Тел.: +7(921)7862960  
E-mail: pavlov.valery@mail.ru