

ОПТИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
им. Д. С. РОЖДЕСТВЕНСКОГО



D. S. ROZHDESTVENSKY  
OPTICAL SOCIETY

# ОПТИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

OPTICS HERALD

Rozhdestvensky Optical Society Bulletin

№ 141 · 2013 · Бюллетень Оптического общества · Стр. 1-10

*Памяти выдающегося физика,  
члена-корреспондента Академии наук СССР*

*Евгения Федоровича Гросса*

*посвящается*

**1897**



**1972**

## Памяти Евгения Федоровича Гросса



2 ноября 2012 года в конференц-зале Петродворцового комплекса Санкт-Петербургского Государственного университета (СПбГУ) состоялись торжественное заседание и научный семинар, посвященные памяти выдающегося физика, члена-корреспондента АН СССР, лауреата Ленинской и Государственной премий профессора Евгения Федоровича Гросса – основателя кафедры Физики Твердого Тела СПбГУ.

По предложению Университета Оптическое общество им. Д.С. Рождественского в 2012 году учредило медаль Е.Ф. Гросса, ко-

торой награждаются известные ученые за выдающиеся исследования по спектроскопии полупроводников и диэлектриков и наноструктур на их основе. Члены Президиума Оптического общества Г.Н. Герасимов (Вице-президент), В.М. Арпишкин (исполнительный директор), В.С. Запаский (член Президиума) впервые вручили медали ряду ученых СПбГУ и ФТИ им А.Ф. Иоффе РАН.

Собравшиеся почтили память Е.Ф. Гросса и поделились воспоминаниями о совместной с ним работе.

## ПРОГРАММА

1. Награждение академика РАН А.А. Каплянского, академика РАН Ж.И. Алферова, заведующего кафедрой ФТТ СПбГУ В.Ф. Агеяна, почетного профессора СПбГУ Б.В. Новикова, профессора СПбГУ И.Х. Акопяна, главного научного сотрудника ФТИ им А.Ф. Иоффе РАН С.А. Пермогорова медалью Е.Ф.Гросса «За выдающиеся исследования по спектроскопии твердого тела», учрежденной Оптическим Обществом им Д.С. Рождественского.



Вице-президент Оптического общества Г.Н. Герасимов поздравляет награжденных медалью Е.Ф. Гросса



Вручение медали Нобелевскому лауреату, академику РАН Ж. И. Алферову – Почетному члену Оптического общества им. Д.С. Рождественского

2. Выступления академиков РАН А.А. Каплянского и Ж.И. Алферова



С воспоминаниями о Е.Ф. Гроссе выступает Ж.И. Алферов

3. Б.В. Новиков «Из истории научных открытий Е.Ф.Гросса»
4. В.Ф. Агеян «О кафедре физики твердого тела СПбГУ и об экситонах»
5. П.С. Копьев «Экситоны в квантоворазмерных гетероструктурах – первые работы в ФТИ и СССР»
6. В.П. Кочерешко «Магнитооптика движущихся экситонов в квантовых ямах»
7. Е.Л. Ивченко «Резонансная дифракция электромагнитных волн на твердом теле»
8. Д.Р.Яковлев «Экситоны в низкоразмерных структурах»
9. В.М. Агранович «Гибридные экситоны»
10. И.А.Югова «Динамика спиновой когерентности в самоорганизованных квантовых точках»
11. С.А. Пермогоров «Локализованные экситоны в неупорядоченных системах».



## Под руководством Е.Ф. Гросса

Учреждение Международным Оптическим Обществом им. Д.С. Рождественского именной медали Евгения Федоровича Гросса является достойным напоминанием о вкладе этого учёного в физику и в развитие методов оптической спектроскопии для исследования фундаментальных свойств твёрдых тел.

Содержащиеся в автобиографии Евгения Федоровича Гросса слова о том, что «школа, пройденная у академика Д.С. Рождественского, наложила неизгладимый отпечаток на всё моё научное творчество и определило его направление» могут быть полностью повторены в отношении самого Евгения Федоровича его учениками, которые удостоены новой именной медали Оптического Общества.

После окончания физфака Ленинградского Государственного Университета в 1953 году, я поступил в аспирантуру к Евгению Федоровичу, возглавлявшему созданную им в 1944 году лабораторию в Ленинградском Физико-Техническом Институте. Лаборатория Физтеха переживала в то время период «бури и натиска», связанный с обнаружением Евгением Федоровичем Гроссом и его аспирантом Нури Каррыевым в спектре поглощения кристаллов закиси меди водородоподобной серии узких линий вблизи края фундаментального поглощения кристалла. Серия была интерпретирована как оптический спектр возбуждения теоретически предсказанных Я.И. Френкелем квазичастиц – экситонов. Стремясь продемонстрировать общность этого явления, Евгений Федорович поручил своим студентам и аспирантам исследовать при низких температурах спектры самых разных полупроводников в области края фундаментального поглощения. Слова из стихотворного фольклора того времени «видишь линию на краю и чувствуешь себя в раю...» отражают царившую в молодом коллективе лаборатории атмосферу научного поиска, увлечённость людей экспериментом с постоянным ожиданием все новых результатов в открывшемся перспективном направлении низкотемпературной оптической спектроскопии полупроводников.

Много лет прошло с того времени, с по-

явлением лазеров и методов исследования ультрабыстрых процессов кардинально изменилась техника оптического эксперимента, самыми актуальными стали исследования новых твердотельных объектов – наноструктур, изменились условия международного сотрудничества учёных. Но неизменным осталось стремление учеников Евгения Федоровича Гросса следовать в своей научной деятельности урокам своего учителя. Для него в высшей мере был характерен интерес к изучению качественно новых эффектов в физике, как и вообще интерес к новаторству в других сферах человеческой деятельности таких как изобразительное искусство и музыка. Особое внимание Евгений Федорович всегда уделял молодёжи, стараясь как можно раньше приобщить к науке студентов организованной им в 1937 году кафедры физического факультета ЛГУ. Оба созданные Евгением Федоровичем коллектива – в Университете и в Физтехе в течение всей своей истории тесно связаны друг с другом, ныне – в рамках организованного в лаборатории спектроскопии твёрдого тела ФТИ филиала кафедры физики твёрдого тела Санкт-Петербургского Государственного Университета.

*А.А. Каплянский*

## Воспоминания о Е.Ф. Гроссе

Я пришел в Физтех 30 января 1953 года по распределению из Ленинградского Электротехнического института. В феврале 1953 года на полупроводниковом семинаре Евгений Федорович Гросс рассказывал об открытии экситонов. Это был первый семинар в Физтехе, на котором я присутствовал, до сих пор помню потрясающее впечатление от этого семинара. Для меня это было радостно еще и потому, что я почти все понял, Евгений Федорович блестяще рассказывал. Тогда еще не было слайд-проекторов, пользовались волшебным фонарем, и его любимый аспирант Борис Петрович Захарченя демонстрировал водородоподобную серию спектра экситона. Впоследствии я более всего взаимодействовал с Борисом Петровичем, но общался и с Евгением Федоровичем.

Помню 1-ю Международную конференцию по физике полупроводников в Праге, в которой участвовали Борис Новиков, Борис Разбирин и Ваш покорный слуга. Официальная советская делегация была небольшой, ее возглавлял Б.М. Вул, всего несколько «больших» ученых от Академии Наук, посланных за государственные деньги. И была группа научного туризма, 60 с лишним человек. Мне и Борису Новикову было 30 лет, Леониду Келдышу – 29. Там я познакомился и поддерживал связь долгие годы, много раз встречался с одним из величайших физиков современности Джоном Бардином, единственным физиком дважды лауреатом Нобелевской премии. На открытии конференции сделал последний в своей жизни доклад Абрам Федорович Иоффе. Это был потрясающий доклад (по-русски, затем он повторил его на английском языке) об истории физики полупроводников. Потом сделал доклад Шокли (бог для нас всех, занимавшихся полупроводниковой электроникой) о лавинном пробое в кремниевых p-n переходах. На закрытии конференции с обобщающим докладом выступил Джон Бардин, вот его слова, которые я запомнил на всю жизнь: «Наука по природе своей интернациональна. Ученые это хорошо знают, но это надо постоянно говорить широкой публике, чтобы все знали – наука международна, нет национальной науки». И в подтверждение этого он сказал: «Возьмите физику полупроводников – она

интернациональна, она создана такими людьми как Мотт (Великобритания), Вагнер и Шоттки (Германия), Френкель и Иоффе (Советский Союз). И еще слова Джона Бардина: «Эта конференция – конференция 2-х явлений в полупроводниках – туннельного эффекта и экситона».

И я думаю, что открытие экситона – одно из фундаментальнейших открытий физики полупроводников. Оно играет огромную роль и сегодня в физике низкоразмерных полупроводниковых структур. Сейчас развивается целый ряд новых оптических направлений в полупроводниках и в твердом теле вообще, в основе многих новых явлений – экситон. И очень важно, что приоритет здесь полностью наш, советский, российский.

За работы по рассеянию света Евгений Федорович получил Сталинскую премию, за открытие экситона – Ленинскую. Я знаю, что Борис Павлович Константинов выдвигал его на Нобелевскую премию. И жаль, что у Евгения Федоровича не оказалось полного комплекта – и Сталинской, и Ленинской, и Нобелевской премий.

Евгений Федорович был очень ярким человек. Отмечу еще такую характерную его черту – когда мы начали исследования гетероструктур, я был уверен, что все получится, надо было только найти варианты, как это сделать, но многие в это не верили. А Евгений Федорович меня поддерживал. Он имел помимо прекрасного экспериментального мастерства еще одно замечательное свойство, которое для экспериментатора чрезвычайно важно – интуитивное чувство, что из ничего может получиться много интересного и большого.

Я тронут тем, что сегодня я здесь, в Университете. Я всегда вспоминаю Евгения Федоровича самыми добрыми словами. Мне хочется, чтобы молодежь Университета развивала традиции Евгения Федоровича Гросса.

*Ж.И. Алферов*

## Из истории научных открытий Е.Ф.Гросса

Евгений Федорович Гросс родился в Колпино под Петербургом, его отец был управляющим Ижорскими заводами. В годы первой мировой и гражданской войн он прошел курсы воздухоплавания в Николаевском военном училище и одновременно обучался на Физическом факультете университета. Вскоре после окончания университета он по предложению академика Д.С. Роддественского поступил на работу в Государственный оптический институт. Изучая взаимодействие света с кристаллами, Е.Ф. Гросс первым в 1930 году экспериментально наблюдал неупругое рассеяние света на акустических колебаниях, теоретически обоснованное Л. Бриллюэном. В середине тридцатых годов Е.Ф. Гросс был репрессирован, выслан из Ленинграда, но вскоре благодаря заступничеству известных физиков ему удалось вернуться и продолжить научную деятельность, в 1938 году он основал в университете кафедру молекулярной физики. В 1946 году Е.Ф. Гросс получил Сталинскую премию, был избран членом-корреспондентом АН СССР, и вскоре академик А.Ф. Иоффе пригласил его в Физико-технический институт АН СССР.

В 1952 году Е.Ф. Гросс экспериментально доказал существование экситонов большого радиуса в полупроводниковых кристаллах. Это важнейшее для спектроскопии твердого тела открытие повлекло за собой целый поток исследований, в числе которых изучение экситонных спектров во внешних полях, обнаружение экситонных квадрупольных переходов и эффектов пространственной дисперсии в области экситонных резонансов, установление роли экситонов в фотоэлектрических явлениях, изучение взаимодействия экситонов с фононами.

В 1966 году Е.Ф. Гроссу и его ученикам Б.П. Захарчене и А.А. Каплянскому за обнаружение и исследования экситонов в полупроводниках была присуждена Ленинская премия. В настоящее время экситоны и весь круг связанных с ними эффектов интенсивно исследуются в квантовых полупроводниковых структурах различного типа.

Евгений Федорович всегда стремился вовлечь в научные исследования молодежь, многие известные работы выполнены им совместно с аспирантами и студентами, которые со временем стали известными специалистами в области оптики твердого тела. Он был разносторонним человеком, любил и глубоко понимал музыку и живопись, проявлял особый интерес к новым течениям в искусстве.

*Б.В. Новиков*

## О кафедре физики твердого тела СПбГУ и об экситонах

Организованная в 1938 году Е.Ф. Гроссом кафедра молекулярной физики была переименована в 1987 году в кафедру физики твердого тела (ФТТ), в этом же году был издан министерский приказ об организации филиала кафедры в ФТИ им А.Ф. Иоффе РАН.

Кафедра ФТТ включает в себя лабораторию оптики твердого тела, лабораторию квантовой акустики и ультразвуковой спектроскопии, сектор calorиметрических исследований биополимеров и филиал кафедры в ФТИ.

Кафедра выпускает магистров по специальностям «спектроскопия твердого тела», «оптика полупроводниковых структур и нанотехнологии», «когерентные фотоны и ЯМР в твердом теле», в 2012 году выпущено двенадцать магистров, в 2013 году планируется выпуск восемнадцати магистров.

В настоящее время в СПбГУ создаются ресурсные центры – парки современных приборов, ориентированные на исследования в различных областях физики, многие ресурсные центры имеют оборудование, соответствующее направлениям научных исследований кафедры ФТТ. Таким образом, экспериментальная база для научных исследований в ближайшее время будет обеспечена. Главными проблемами являются, во-первых, привлечение на кафедру сильных студентов, во-вторых, закрепление на кафедре молодых талантливых специалистов.

Говоря об экситонах, рассмотрены два аспекта:

- 1) когерентное смешивание квадрупольных и дипольных экситонов в электрическом поле и яркое проявление этого смешивания в интенсивностях боковых компонент зеемановского расщепления уровня квадрупольного экситона
- 2) В достаточно сильном магнитном поле в спектре поглощения полупроводника наблюдаются периодически повторяющиеся группы линий, причем вид этих групп трансформируется по мере роста поля. Эти эксперименты доказали, что наиболее ярко в оптических спектрах проявляются непосредственно переходы между уровнями Ландау валентной зоны и зоны проводимости, а примыкающие к этим переходам серии уровней квазиодномерных экситонов.

*В.Ф. Агекян*

## Экситоны в квантоворазмерных гетероструктурах – первые работы в ФТИ и СССР

Физико-Технический институт со времени своего основания является ведущим научным учреждением Советского Союза и России в области технологии, исследования свойств и практического применения полупроводников. Естественно, что и первые исследования полупроводниковых низкоразмерных структур в СССР начались в ФТИ. Этими структурами стали квазидвумерные квантовые ямы из арсенида галлия с барьерами из твердого раствора – арсенида галлия и алюминия. Вначале результаты были не очень впечатляющими, недостаточно точно выдерживалась ширина ям, соответственно, оптические спектры имели сильное неоднородное уширение. Много усилий было затрачено на выяснение деталей технологии роста этих структур, и наилучшим методом характеристики квантовых ям, оценки их качества явились экситонные спектры излучения. В итоге удалось вырастить структуры, в которых ширина экситонных линий была рекордной по сравнению с лучшими зарубежными образцами. На этих высококачественных структурах GaAs/GaAlAs был проведен целый цикл исследований в области экситонной спектроскопии. Получены пионерские результаты о свойствах квазидвумерных экситонов в квантовых ямах, исследованы локализация экситонов на флуктуациях ширины квантовых ям, поведение двумерных экситонов в магнитном поле, туннелирование экситонов и носителей заряда из одной ямы в другую.

*П.С.Копьёв*

## Магнитооптика движущихся экситонов в квантовых ямах

Главное, отличительное свойство экситона состоит в том, что он может свободно двигаться по кристаллу. Почти сразу после экспериментального открытия экситона в 1952 году, встал вопрос о доказательстве его движения в кристаллах. Существование волнового вектора у экситонных возбуждений было впервые продемонстрировано в работе Е.Ф.Гросса и А.А.Каплянского при исследовании анизотропии экситонного поглощения в кубических кристаллах  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Наличие волнового вектора экситона было подтверждено в 1961 году при исследовании влияния инверсии магнитного поля на эффект Зеемана в кристаллах CdS. Наиболее убедительным доказательством движения экситонов явилось прямое наблюдение максвелловского распределения кинетической энергии экситонов в спектрах экситон-фононной аннигиляции в кристаллах CdS. Баллистическое движение экситонных поляритонов было продемонстрировано при исследовании интерференции света в тонких кристаллических пластинках.

Относительно недавно было обнаружено, что характер движения экситона по кристаллу не столь прост. В магнитооптических экспериментах удалось продемонстрировать, что движение центра масс и внутреннее движение в экситоне взаимосвязаны. Движение центра масс сопровождается изменением внутреннего движения и наоборот, состояние внутреннего движения в экситоне влияет на движение его центра масс. Такое поведение явно противоречит нашему повседневному опыту да и законам классической механики. Однако в кристаллах это вполне возможно. Это удалось показать в наших магнитооптических экспериментах.

В последние годы интерес исследователей сместился от изучения экситонов к изучению их бозе-конденсации в микрорезонаторах. Оказалось, что двигаться по кристаллу может не только одиночный экситон, но и целый конденсат экситонов. Квантование движения экситонного конденсата удастся наблюдать в мезах изготовленных на основе микрорезонаторов.

*В.П. Кочерешко*



## Резонансная дифракция электромагнитных волн на твердом теле

Рассмотрим дифракцию электромагнитной волны на периодической среде, когда условие Брэгга выполняется на частоте резонанса, возбуждаемого в этой среде. С единых позиций описывается распространение, отражение, пропускание и дифракция электромагнитного излучения в различных объектах: а) периодических структурах с квантовыми ямами в экситонной резонансной области спектра, б) оптических решетках из атомов, охлажденных в лазерном поле, и в) объемных кристаллах и мультислоях с резонансными внутриядерными переходами для гамма-лучей. Основное внимание сосредоточено на линейной стационарной дифракции, включая резонансное отражение и пропускание, как наиболее изученной и позволяющей проводить сравнение между тремя системами, выявляя общие черты и особенности. Характерным общим свойством рассматриваемых систем является подавление в них роли безызлучательных каналов и неоднородного уширения резонансной частоты. Второе фундаментальное свойство резонансных фотонных кристаллов – наличие в зависимости от толщины образца двух режимов взаимодействия света с резонансными возбуждениями. В сверхизлучательном режиме, реализуемом при малом количестве резонансных слоев  $N$ , высота пика и полуширина спектра отражения монотонно возрастают с ростом  $N$ . При дальнейшем росте  $N$  происходит переход к фотонно-кристаллическому режиму, в котором полуширина спектра отражения насыщается, проявляясь в виде оптической стоп-зоны. Теоретическое рассмотрение иллюстрируется экспериментальными спектрами, измеренными во всех трех резонансных брэгговских системах.

*Е.Л. Ивченко*

## Экситоны в низкоразмерных системах

Школа по экситонной спектроскопии твердых тел, созданная Е.Ф. Гроссом в Ленинграде, позволила советским ученым занять лидирующие позиции в исследовании экситонов в низкоразмерных системах. Существенными этапами в обнаружении новых явлений явились наблюдение квантования центра масс экситона И.Н. Уральцевым, В.А. Киселевым и Б.С. Разбировым в 1973 году в тонких пластинках CdSe, синтез квази-нульмерных полупроводниковых нанокристаллов в стеклянной матрице и наблюдение в спектрах таких нанокристаллов квантоворазмерного сдвига А.И. Екимовым в 1981 году, теоретическое изучение электронных состояний в нанокристаллах А.Л. Эфросом и Ал.Л. Эфросом в 1982 году.

Квазидвумерные экситоны в первой советской квантовой яме GaAs/AlGaAs, выращенной методом молекулярно-пучковой эпитаксии в группе П.С. Копьева, были обнаружены И.Н. Уральцевым и Д.Р. Яковлевым в 1984 году. Заряженные экситоны (трионы) в квантовых ямах CdTe/CdMgTe и ZnSe/ZnMgSe изучались В.П. Кочерешко, Д.Р. Яковлевым и Г.В. Астаховым в сотрудничестве с университетом Вюрцбурга, Германия, начиная с 1995 года. Параметры и свойства магнитного полярона в объемных разбавленных магнитных полупроводниках были установлены группами из ФТИ им А.Ф. Иоффе и Санкт-Петербургского Государственного Университета. Двумерный экситонный магнитный полярон в квантовой яме CdMnTe/CdMgTe был обнаружен Д.Р. Яковлевым в 1990 году и затем детально исследован экспериментально в университете Вюрцбурга и теоретически в ФТИ им А.Ф. Иоффе К.В. Кавокиным, А.В. Кавокиным и И.А. Меркуловым.

Перечисленные работы – это лишь небольшая часть исследований экситонов в наноструктурах проведенных и проводимых в Петербурге. Следует подчеркнуть, что экситон является как объектом исследования, так и мощным инструментом изучения свойств низкоразмерных структур.

*Д. Р. Яковлев*



## **Динамика спиновой когерентности в самоорганизованных квантовых точках**

Ориентация электронного спина в полупроводниках рассматривается в последнее время как один из наиболее перспективных способов реализации квантовых вычислений и хранения информации. Спин в магнитном поле может играть роль квантовой логической ячейки. Обработка информации с помощью таких ячеек требует больших времен спиновой когерентности. Рекордно высокой стабильностью отличаются спиновые состояния в квантовых точках, поскольку в них ряд механизмов релаксации, существующих в объемном материале, оказывается неэффективным. Однако, существенной проблемой является неоднородность ансамбля квантовых точек в реальных структурах. Неоднородность приводит к быстрой расфазировке спиновых состояний ансамбля. Тем не менее, как показали наши работы, реализация длительной спиновой когерентности в неоднородном ансамбле квантовых точек оказывается возможной за счет эффекта синхронизации спиновой прецессии. Периодическое оптическое возбуждение заряженного экситона (триона) импульсами поляризованного света создает в ансамбле квантовых точек долгоживущую спиновую когерентность и приводит к синхронизации спиновой прецессии электронов в магнитном поле. Эта синхронизация является результатом конструктивной интерференции электронной поляризации во времени.

Фазовая синхронизация спинов позволяет путем выбора условий возбуждения формировать единую спиновую динамику ансамбля квантовых точек, и эффективно управлять когерентностью спинового ансамбля.

*И.А. Югова*

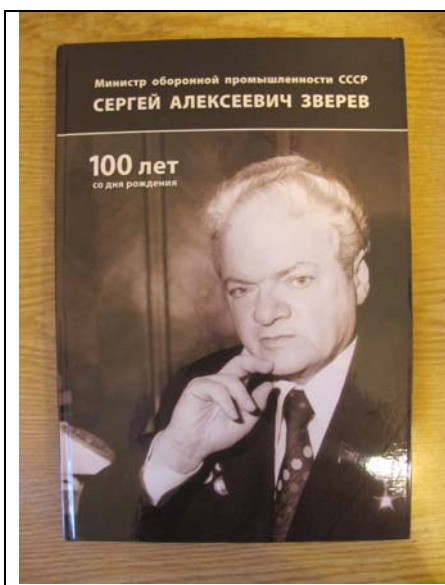
## **Свободные экситоны в кристаллах и локализованные экситоны в неупорядоченных системах**

Обсуждается проявление состояний свободных экситонов и состояний экситонов, локализованных флуктуациями состава, в спектрах оптического излучения полупроводниковых кристаллов и полупроводниковых твердых растворов. Основное отличие резонансных спектров излучения водородоподобных свободных экситонов от аналогичных переходов в атомах связано с аннигиляционной природой экситонных процессов излучения. Как следствие, для таких переходов принципиально отсутствует эффект оптической отдачи и, несмотря на зонный характер экситонной энергии, в бесфононных оптических спектрах проявляются только отдельные точки зоны, для которых одновременно выполняется закон сохранения энергии и волнового вектора. Однако в переходах с одновременным испусканием или поглощением фононов могут участвовать все состояния экситонной зоны, что позволяет прямо наблюдать распределение экситонов по кинетическим энергиям.

Экситоны, локализованные флуктуациями потенциала, в основном сохраняют структуру внутреннего электронного движения, характерную для невозмущенной системы, что проявляется, например в сохранении поляризационных правил отбора для оптических переходов. Однако локализация экситонов приводит к существенному подавлению процессов переноса энергии по кристаллу. Оптические спектры локализованных экситонов демонстрируют сильное неоднородное уширение, обусловленное флуктуационным характером локализации. Наличие миграции энергии в зоне локализованных состояний приводит к сильной дисперсии времени жизни по контуру полосы излучения. Как следствие, в зоне локализованных состояний существует характеристическая энергия порога подвижности. Кроме того, пространственная локализация экситонов приводит к существенной модификации процессов экситон-фононного взаимодействия. Рассмотрено проявление отмеченных выше свойств локализованных экситонов в некоторых типах неупорядоченных систем (полупроводниковые твердые растворы, квантовые ямы, ансамбль квантовых точек).

*С.А. Пермогоров*

## НОВЫЕ КНИГИ



**Книга-альбом «Министр оборонной промышленности СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЗВЕРЕВ. 100 лет со дня рождения.**  
Ярославль.- Издательство «РМП».- 2012.- 183 с.

Книга-альбом посвящена выдающемуся государственному деятелю, председателю Государственного комитета Совета Министров СССР по оборонной технике (1963-1965), министру оборонной промышленности СССР (1965-1978) Сергею Алексеевичу Звереву. Сергей Алексеевич – талантливый ученый, конструктор, организатор производства и одновременно сильный, принципиальный, обаятельный человек. С.А. Звереву было присвоено звание Героя Социалистического труда. Он был награжден шестью орденами Ленина, двумя орденами Красного знамени, орденами Отечественной войны 1-й степени, Красной Звезды, «Знак Почёта». Он – лауреат Ленинской и Государственной премий СССР. В 1993 году Оптическим обществом им. Д.С. Рождественского была учреждена медаль С.А. Зверева, которая вручается за вклад в становление и развитие оптической науки и промышленности.

Издание выпущено при содействии ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

**В.Е. Привалов, А.Э. Фотиади, В.Г. Шеманин**

Лазеры и экологический мониторинг атмосферы: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 288 с: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

**ISBN 978-5-8114-1370-6**

Рассмотрены современные методы лидарного мониторинга окружающей среды. Дан анализ литературы по лазерному зондированию атмосферы, сформулированы принципы лазерного мониторинга окружающей среды и выработаны требования к параметрам лазерного излучения, обеспечивающим наибольшую чувствительность и избирательность лидарных систем. Изложены принципы действия лидаров, приведены результаты численных расчетов с помощью лидарных уравнений для комбинационного рассеяния света и дифференциального поглощения и рассеяния концентраций молекул фтороводорода и углеводородов.

Книга содержит обширный справочный материал для выполнения расчетных работ.

Предназначена для студентов, обучающихся по направлению «Техническая физика», а также аспирантов и специалистов, занимающихся экологическим мониторингом и защитой окружающей среды.



Учредитель – Оптическое общество  
им. Д. С. Рождественского

Свидетельство № 000430  
ВЫДАНО 18.09.91  
ИСПОЛКОМОМ ЛЕНГОРСОВЕТА  
НАРОДНЫХ ДЕПУТАТОВ  
телефон для справок: (812)328-1335

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**И. А. ЗАБЕЛИНА** –главный редактор  
**И.А. САМОХИНА** - ответственный секретарь,  
Члены редакционной коллегии:  
**В. М. АРПИШКИН, Н.В. НИКОНОВ,**  
**В. Л. ФИЛИППОВ, В. Б. ШИЛОВ**

Наш адрес:  
199034,  
С.-Петербург, Биржевая линия, 8  
Оптическое общество,  
«Оптический вестник»  
Тираж 600 экз.  
Распространяется бесплатно