

# ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

УДК 378.147

## ИНТЕГРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КРАСНОЯРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

**А.С. Проворов, М.Ю. Реушев, В.В. Салмин,  
А.Г. Сизых, Е.А. Слюсарева, А.В. Сорокин\***

*Представлен и обсуждается опыт интеграции образования и прикладных исследований кафедры квантовой электроники Красноярского государственного университета. Рассмотрены системы многоуровневой общеобразовательной и специальной подготовки физиков по специализациям "Квантовая электроника" и "Медицинская физика", "Биомедицинская оптика и лазерная биофизика". Приведены примеры интеграции направлений прикладных исследований с учебным процессом.*

Бурное развитие квантовой электроники началось с создания лазеров и продолжается в активной форме до настоящего времени. История возникновения и становления квантовой электроники интересна и достаточно подробно исследована.

Кафедра квантовой электроники была организована в Красноярском государственном университете (КрасГУ) в 1988 году. Естественная потребность в такой кафедре вызвана быстрым развитием лазерной техники и ее широким применением в различных областях науки, техники и технологии [1].

Специализация студентов осуществляется в сотрудничестве с ведущими научными, образовательными, производственными и другими организациями г. Красноярска и Красноярского региона на основе постоянного сотрудничества, участия в интеграционных научно-образовательных проектах.

На кафедре квантовой электроники реализованы три специализации: квантовая электроника, медицинская физика, биомедицинская оптика и лазерная биофизика. Дисциплины специализации включены в учебный процесс с 5-го по 9-й семестры, в течение 5-8 семестров в расписании выделен свободный от аудиторных занятий день для выполнения научно-исследовательской работы, в начале 9-го семестра 10 недель отводится на производственную практику. Преддипломная практика и непосредственно выполнение дипломных работ проходят в 10-м семестре. Организационная структура всех специализаций одинакова.

Магистерская подготовка на кафедре квантовой электроники осуществляется по специализации "Физика оптических явлений". Профиль будущей деятельности магистранта – научно-исследовательская и производственная работа. Важнейшим считается владение навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности. Поэтому особое внимание уделяется производственной практике, где приобретаются навыки и опыт практической работы в сфере исследований и наукоемкого производства.

Важное место в профессиональной подготовке занимает исследовательская работа студентов. Первый опыт этой деятельности появляется при выполнении курсовых работ. Именно здесь формируется академическая самостоятельность будущего профессионала.

Как правило, темы курсовых работ носят характер небольших учебно-исследовательских задач, методы, решения которых не алгоритмизированы, требуют серьезного анализа литературы, разработки простых, но в то же время оригинальных методик экспериментальных или теоретических исследований, конструирования и создания экспериментальных установок. В ряде случаев студенты 3-4 курсов вливаются в исследовательский коллектив, работающий над конкретной научной проблемой. В этой ситуации необходимо включиться в работу команды, понять общую постановку задачи, освоить конкретный участок исследовательской работы. Фактически вхождение в проблему и в коллектив представляет для студента непростую задачу освоения новой области реальной практики.

Эффективный старт в исследовательской деятельности на младших курсах во многом предопределяет успешность студента при выполнении квалификационных работ бакалавра, специалиста и магистра. Эти

\* © А.С. Проворов, М.Ю. Реушев, В.В. Салмин, А.Г. Сизых, Е.А. Слюсарева, А.В. Сорокин, Красноярский государственный университет, 2006. E-mail: sorav@lan.krasu.ru

## Общие проблемы физического эксперимента и преподавания физики

работы, по замыслу, должны представлять собой завершённые исследования с перспективой публикации в научной периодике и представления на конференциях. Если выпускная работа бакалавра является промежуточным вариантом, содержащим в себе некоторые признаки оригинального исследования и учебно-исследовательской задачи, то дипломные работы и магистерские диссертации должны быть более высокого уровня. Практика работы кафедры квантовой электроники подтверждает реальными фактами достаточный квалификационный уровень студентов 5-6 курсов для выполнения оригинальных исследований, подготовки научных публикаций, докладов, оформления патентных заявок.

На кафедре квантовой электроники создана и развивается электронная библиотека специализации [2]. Сайт специализации "Медицинская физика" (<http://medphys.krasu.ru>) ориентирован на интересы специалистов в области физики, медицины, биомедицинской оптики, медицинской физики. Информационную основу сайта составляет поисковая система "MEDPHYSNET", в которой в настоящее время сохранено около 2.5 миллионов документов. Электронная библиотека содержит статьи, патенты, книги, ссылки на online, журналы, научные порталы, электронные библиотеки, издательства, патентные ведомства.

### *Примеры прикладных исследований, интегрированных с учебным процессом*

Общее направление научных исследований кафедры – прикладные вопросы лазерной физики в области волноводных газовых лазеров, оптических открытых линий связи, оптической записи информации в молекулярных средах, спекл-интерферометрической резольвOMETрии и лазерной биомедицине.

#### **1. Открытые оптические линии связи для локальных оптических сетей**

Перспективным и развивающимся в настоящее время направлением в области разработок средств телекоммуникаций служат открытые оптические линии связи (ООЛС). Они не являются альтернативой существующим оптоволоконным и радиоканалам, но находят свое место на рынке услуг связи.

На кафедре квантовой электроники Красноярского государственного университета при непосредственном участии студентов физического факультета создана экспериментальная модель системы ООЛС, работающая в среде программного обеспечения Windows в стандарте Ethernet – 10 Base T. Разработка системы была направлена на подключение локальной компьютерной сети, созданной студентами, проживающими в общежитиях университета, к оборудованию, размещенному в главном корпусе университета и имеющему выход во внешнюю сеть Internet. Разработка системы ООЛС – комплексная физико-техническая задача, требует глубоких знаний по оптике и квантовой электронике, радиофизике и спектроскопии, способствует интеграции знаний из различных разделов физики.

#### **2. Оптическая запись информации в молекулярных средах**

Актуальность изучения фотохромных систем связана с решением практических задач записи информации, создания методов диагностики физико-химических свойств молекулярных нелинейных сред. На кафедре осуществляются теоретические и экспериментальные исследования закономерностей окислительно-восстановительного фотохромизма в системе «краситель в полимерной матрице». Теоретические посвящены разработке кинетических моделей фотофизических и фотохимических процессов в регистрирующих средах вышеназванного типа, а экспериментальные сосредоточены в направлении измерений спектрально-кинетических характеристик тонкопленочных образцов твердых растворов ксантеновых красителей в полимерных матрицах, включая биополимеры.

Экспериментально показано, что обесцвечивание пленочных образцов твердотельных растворов красителей в интерференционном поле лазерного излучения сопровождается формированием амплитудно-фазовой фотохимической светоиндуцированной решетки (СИР) [3], в минимумах и максимумах которой возникают градиенты концентрации фотопродукта и исходного красителя соответственно. Градиенты концентрации компонентов раствора приводят к их диффузии. Последняя служит дополнительным фактором, влияющим на контраст СИР. Эволюция дифракционной эффективности такой решетки при записи несет на себе черты как кинетики фотореакции, так и диффузии компонентов в различных электронных состояниях, участвующих в реакции. Измерение релаксации дифракционной эффективности СИР на длине He-Ne лазера ( $\lambda=633$  нм), лежащей вне полосы поглощения красителя, и на длине волны аргонового лазера ( $\lambda=488$  нм), лежащей в полосе поглощения, позволяет извлечь информацию о коэффициентах диффузии красителя и его фотопродукта в различных полимерных матрицах. Одновременная регистрация изменения оптической плотности образцов на длине волны  $\lambda=488$  нм в процессе фотолиза дает возможность количественно оценить скорости фотовосстановления красителя в различных полимерах. На основании выполненных исследований характеристик СИР предложен метод измерения пространственной когерентности лазерного излучения, защищенный патентом России [4].

В распоряжение студентов на кафедре предоставлена многоканальная автоматизированная установка для спектрально-кинетических измерений [5], спектрофотометрическая аппаратура, материалы для изготовления образцов, компьютеры с программными продуктами. Результаты исследований в соавторстве со студентами опубликованы в работах [6-7].

### 3. Спекл-интерферометрическая резольвOMETрия

Разрешающая способность светочувствительных материалов как возможность воспроизведения предельно мелких деталей является важнейшей характеристикой оптических носителей информации. Численно это свойство выражается величиной  $R$ , равной максимальному числу периодов одномерной решетки, отдельно воспроизводимой светочувствительным материалом на единицу длины, обычно 1 мм. Методы определения  $R$  выделены в раздел микросенситометрии, называемый резольвOMETрией. Одним из известных методов определения  $R$  считается моделирование мелких деталей с помощью тест-объектов – мир в виде специальных транспарантов разнообразной формы. Обычно миры представляют собой совокупность черных фигур, чаще всего штрихов и пробелов между ними.

С развитием лазерной оптики были разработаны методы резольвOMETрии, использующие в качестве тест-объектов регулярные интерференционные поля, с синусоидальным изменением интенсивности. В то же время нет никаких принципиальных ограничений на использование в качестве тест-объектов любой нерегулярной и достаточно контрастной оптической структуры, например спекл-структуры, формирующейся при распространении когерентных световых полей в случайно-неоднородных средах.

На кафедре квантовой электроники в течение ряда лет в рамках курсовых и дипломных работ исследуется возможность использования спекл-структуры в качестве оптического тест-объекта для определения разрешающей способности светочувствительных материалов на основе спекл-интерферометрических измерений. Оптический тест-объект – спекл-структура, дважды экспонированная на испытуемый образец, поворачивающийся на некоторый угол между двумя экспозициями. Спекл-фотография двойной экспозиции, представляющая собой хаотически расположенные пары однотипных по пропусканию областей, просвечивается лучом лазера. Дифрагированный пучок со спекл-структурой модулируется интерференционными полосами Юнга с переменной пространственной частотой и контрастом в зависимости от расстояния между местом просвечивания и центром вращения образца. Параметры интерференционной картины используются для определения разрешающей способности.

По результатам исследований, выполненных в дипломных работах в соавторстве со студентами, получено три патента [8-10].

### 4. Волноводные газовые лазеры

Компактные и надежные лазеры, генерирующие излучение в инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах спектра, находят широкое применение в медицине, прецизионных технологиях обработки материалов, метрологии, лазерной спектроскопии, системах записи и передачи информации.

Наиболее перспективными приборами этого класса считаются волноводные лазеры на углекислом газе ( $\text{CO}_2$ -ВГЛ), генерирующие излучение в области 10,6 мкм, и лазеры на молекулярном азоте с областью генерации 0,337 мкм.

Численное моделирование и экспериментальные исследования процессов генерации в  $\text{CO}_2$ -ВГЛ позволили разработать лабораторные образцы перестраиваемых лазеров в диапазоне 9,4 - 10,8 мкм, имеющие мощность излучения до 1 Вт и не требующих водяного охлаждения активной среды [11].

В ультрафиолетовом диапазоне наиболее технологичен импульсный лазер на молекулярных полосах азота. На кафедре квантовой электроники разработан азотный лазер с мощностью импульса до 30 кВт, частотой повторения до 500 гц, средней мощностью до 25 мвт [12]. В исследованиях и разработке лазерных систем активно участвовали студенты – соавторы ряда научных публикаций.

### 5. Лазерная биомедицина

С 1999 года на физическом факультете начала работать межкафедральная специализация «Медицинская физика». Организационным центром учебного процесса по данной специализации стала кафедра квантовой электроники, поскольку ранее сотрудники кафедры выполнили цикл работ по исследованию действия лазерного излучения на биологические объекты, разработали методики иммунокоррекции ультрафиолетовым излучением и лазерной детоксикации при острых отравлениях угарным газом [13].

В дальнейшем прикладные исследования по применению лазерного излучения интенсивно расширились, с активным участием студентов специализации «Медицинская физика». К настоящему времени выполнен цикл исследований состояния роговой оболочки человеческого глаза методом спектрофлуориметрии биологических тканей. Чувствительность флуоресцентных методов в диагностике биосистем в сочетании с возможностью доставки лазерного излучения с помощью световодов в локальную область биоткани позволяют проводить исследования *in situ*. В частности, одна из дипломных работ 2003 года была посвящена разработке неинвазивной флуоресцентной методики анализа метаболизма в клетках эпителия хрусталика. Возможность оценки состояния окислительно-восстановительных систем в клетках хрусталика является основой ранней диагностики катаракты.

Интересные результаты получены в исследованиях влияния излучения  $\text{N}_2$ -лазера на ДНК лимфоцитов человека *in vitro*. Актуальность выполненной работы связана с разработкой безопасных методов иммунокоррекции с использованием излучения лазера на молекулярном азоте. Генотоксичность лазерного излучения оценивалась микроядерным тестом. Проводились исследования при различных режимах облучения –

## Общие проблемы физического эксперимента и преподавания физики

высокоинтенсивном ( $13 \text{ МВ/см}^2$ ), низкоинтенсивном ( $350 \text{ кВт/см}^2$ ). Протестированы различные удельные дозы облучения. Установлено, что количества микроядер в лимфоцитах периферической крови после лазерного облучения увеличивается. Показано, что облучение высокоинтенсивным излучением оказывает более выраженное генотоксическое действие, нежели низкоинтенсивное излучение [14].

Фундаментальные и прикладные исследования в реальной практике тесно взаимосвязаны. От открытия нового физического эффекта до его использования в технологиях или технических устройствах могут быть интервалы времени от нескольких лет до десятилетий. Профессиональная подготовка физиков в классических университетах предполагает некоторую академическую «поляризацию». Однако прагматичность нашего времени диктует жесткие условия – новые знания должны быть «капитализированы», представлены на рынок технологий. Новое должно «приложиться» к старому и улучшить его потребительские качества либо сформировать нечто – устройство, способ-технологию, отличное от известных. Можно ли это увидеть, угадать или же необходимо провести специальные исследования? И здесь появляется специфика исследований, позволяющая выделять их в прикладные. В общеобразовательных дисциплинах это остается вне зоны внимания. По-видимому, знания и практика в сфере прикладных исследований могут нарабатываться в специальных дисциплинах и научной работе, нацеленной на практически значимые результаты, востребованные обществом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проворов А.С. Научные разработки кафедры квантовой электроники / А.С. Проворов // Теория и эксперимент в современной физике: сб. науч. статей Краснояр. гос.ун-та. - Красноярск: Изд-во КГУ, 2000. - С. 29-42.
2. Проворов А.С. Электронная библиотека специализации “Медицинская физика”, использующая технологию публикации баз данных в Интернет / А.С. Проворов, В.В. Салмин, А.В. Сорокин, А.Г. Сизых, С.А. Фень // Сб. трудов международной научно-методической конференции «Новые информационные технологии в университетском образовании». - Новосибирск: Н 72, Институт дискретной математики и информатики, 2000. – С. 49.
3. Сизых А.Г. Фотоиндуцированные процессы в твердых полимерных растворах красителей в интерференционном поле лазерного излучения / А.Г. Сизых, Е.А. Тараканова // Квантовая электроника – 1998. – Т. 25. - №12. С. 1126-1130.
4. Способ измерения степени пространственной когерентности лазерного излучения. Патент на изобретение 2234064 РФ, МКИ С 1 G 01 J 9 / 00. А.Г. Сизых, Е.А. Слюсарева (Россия) – 8 с.: с илл.
5. Макаров Р.А. Автоматизированная установка для спектрально-кинетических измерений / Р.А. Макаров, А.Г. Сизых // Вестник КрасГУ, сер. физ. мат. науки. – Красноярск; 2004 .Вып.1. - С.62-69.
6. Прищепа О.О. Измерение коэффициента диффузии красителя в полимере методом голографической релаксометрии / О.О. Прищепа // Тезисы Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, ВНКСФ-8. - Екатеринбург, 2002. – С. 455-456.
7. Дьячук Е. А. Роль амплитудной и фазовой составляющей при формировании фотохимической светоиндуцированной решетки / Е.А. Дьячук // Материалы ХLI международной научной студенческой конференции «Студенты и научно-технический прогресс». - Новосибирск, 2003. - С. 84.
8. Патент на изобретение 2147764 РФ. МКИ С1 7 G03 С 5/02. Способ получения резольвограмм с помощью спекл-структуры и резольвометр для его осуществления / А.В.Сорокин, О. П Шевченко (Россия). - 6 с.: илл.
9. Патент на изобретение 2184989 РФ. МКИ 2184989 С2 7 G 03 С 5/02. Перестраиваемый спекл-интерферометрический резольвометр / А.В. Алеников, А.В.Сорокин (Россия). - 6 с.: илл.
10. Патент на изобретение 2223534 РФ. МКИ С2 7 G 03 5/02, G01 В 9/025. Способ расшифровки спекл-резольвограмм / А.В. Сорокин, И.Н. Потылицина (Россия) 8 с.: илл.
11. Проворов А.С. Волноводный  $\text{CO}_2$ -лазер с комбинированным возбуждением разрядом постоянного тока и поперечным ВЧ-разрядом емкостного типа / А.С.Проворов, А.Ф.Максименко, М.Ю.Реушев, С.А.Фень // Квантовая электроника. – 1994. – 21, № 9. – С.827-828.
12. Проворов А.С. Компактный  $\text{N}_2$ -лазер с магнитным сжатием /А.С.Проворов, В.В.Салмин // Квантовая электроника. – 1993. – Т. 20. - № 6. – С.608-610.
13. Provorov A.S. Медицинская физика в классическом университете /A.S.Provorov, V.V.Salmin, A.G.Sizikh // Medical Physics. – 2001. - № 11, P. 107-108 (russ)
14. Provorov A.S. Influence of UV Laser Radiation on the Main Subpopulations of the T-Lymphocytes / A. S. Provorov, T. A. Kozhevnikova, and V. V. Salmin // Laser Physics. – 2001. - Vol. 1. №. 10. - P. 1–5.

## **Общие проблемы физического эксперимента и преподавания физики**

---

**EDUCATION AND APPLIED RESEARCHES INTEGRATION AT  
THE QUANTUM ELECTRONICS DEPARTMENT OF KRASNOYARSK STATE UNIVERSITY**

**A.S. Provorov, M. Yu. Reushev, V.V. Salmin,  
A.G. Sizykh, E.A. Slyusareva, A.V. Sorokin**

*We report the experience of education and applied researches integration at the Quantum Electronics Department of Krasnoyarsk State University. The systems of multi-stage general and special training specialization "Quantum electronics", "Medical physics" and "Biomedical optics and laser biophysics" are considered. The examples of education process and applied researches integration are presented.*