

УДК 53(092.2)

**А.В. Ельцов, Н.В. Коненков****В.А. СТЕПАНОВ: НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Представлена малая часть научных результатов в области плазменной, квантовой и твердотельной электроники. Приведенные работы подчеркивают приоритет рязанских (российских) ученых в указанных областях знаний и образовательном процессе.

*Степанов В.А., бифуркация, газоразрядный лазер, срок службы, концентрация электронов, колебательно-волновой процесс, информационные технологии, инженерные методы проектирования, странный аттрактор, релаксационные колебания, технология герметизации.*

Владимир Анатольевич Степанов — выпускник Ленинградского государственного университета имени А.А. Жданова (квалификация физик), доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный профессор Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина, автор более 400 публикаций, из которых статьи в ведущих научных журналах из списка Web of Science и перечня ВАК (120 наименований), авторские свидетельства и патенты, включая патенты США и Англии (40), обзоры электронной техники (15), учебно-методические пособия (22), индекс Хирша — 7.

Интересна оценка деятельности В.А. Степанова коллективом Научно-исследовательского института газоразрядных приборов «Плазма»: «...Значительная часть Вашей жизни прошла в стенах НИИ ГРП. Здесь Вы сформировались как ученый и руководитель, в числе первопроходцев разработали начала квантовой электроники, всегда находясь на передовых рубежах этой интереснейшей грандиозной работы. Вы первый в институте получили генерацию лазерного излучения...

Оригинальные и всесторонние научные исследования, проведенные Вами и под Вашим руководством, заложили физические основы конструирования современных газоразрядных лазеров с излучением во всем видимом и невидимом диапазоне... которые нашли широкое применение в самых разных отраслях науки, техники и производства... создали солидную научную школу, откуда вышли способные молодые ученые, составляющие ныне элиту научной мысли Рязани. Под Вашим руководством многие сотрудники выполнили и защитили диссертации, стали ведущими специалистами в области квантовой электроники. И сегодня они, не скрывая теплых чувств и не считая излишней патетику, в один

голос говорят: «Учитель, перед именем твоим позволь смиренно преклонить колени»...»<sup>1</sup> (Коллектив НИИ ГРП, ПЛАЗМА; 59 подписей).

«Профессор Степанов Владимир Анатольевич — несомненное явление в научном, производственном и образовательном пространстве нашего региона... — отмечает академик Российской академии образования А.П. Лиферов. — Искать новизну, не теряя при этом из виду базовых, фундаментальных основ — профессиональное кредо Владимира Анатольевича. Им он руководствовался на всех этапах своей трудовой деятельности — от главного конструктора лазеров в СССР до организатора эффективной учебно-методической работы в вузе. В любом деле он не просто генератор идей, но и мощное «зарядное устройство» для всех тех, кто работает рядом с ним. Со Степановым просто невозможно работать вполсилы, с перепадом в активности и рабочем настроении. При этом важно отметить, что подобный подход к делу Владимир Анатольевич сумел передать своим многочисленным ученикам и таким образом обеспечил столь необходимое сегодня его «тиражирование»...»<sup>2</sup>.

Тиражирование и защита диссертаций проходила в разных городах (Москва, Санкт-Петербург, Минск, Рига, Саратов, Новосибирск, Саранск, Ереван, Ташкент, Рязань) и советах (23), что обусловлено отсутствием до 1970 года в городе Рязани диссертационных советов и многообразием научно-технических задач, требующих решения в связи с развитием на предприятиях и в вузах Рязанского региона направлений вакуумной, плазменной, твердотельной, квантовой электроники и методики обучения физике. Широкий спектр часто смежных фундаментальных и прикладных проблем определил перечень специальностей (7), по которым могла быть осуществлена подготовка (руководство и активное участие) кадров высокой квалификации: докторов физико-математических наук — 6, докторов технических наук — 7, докторов педагогических наук — 3, кандидатов физико-математических наук — 31, кандидатов технических наук — 21, кандидатов педагогических наук — 11, которые находились в сфере научного потенциала В.А. Степанова. Защита диссертаций в разных советах и городах является хорошим критерием надежности и достоверности результатов проведенных исследований.

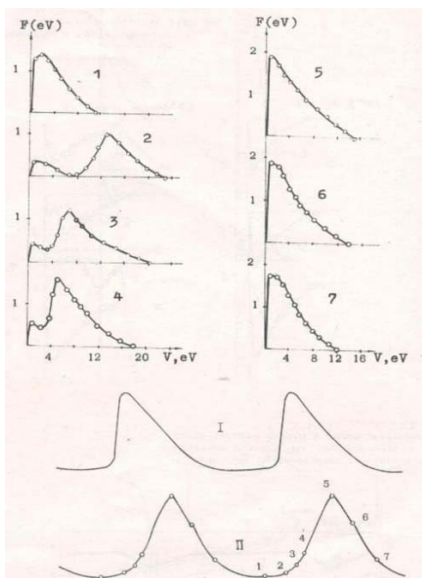
Из научных результатов Владимира Анатольевича Степанова можно выделить следующие:

– При исследовании распределения электронов по энергиям в тлеющем разряде в инертных газах и парах ртути его зависимости от колебательно-волновых процессов в плазме впервые (1969–1971 гг.) с опережением более чем на 30 лет было измерено распределение электронов по энергиям по длине бегущей страты (рис. 1) для широкого диапазона разрядных условий (О.Н. Орешак, В.А. Степанов).

---

<sup>1</sup> Степанов В.А. Газовые лазеры в Рязани // Как это было: к 50-летию создания лазеров (воспоминания создателей лазеров в России). М.: Лазерная ассоциация, 2010. Ч. 2. С. 128–156.

<sup>2</sup> Степанов В.А. Педагог, ученый, личность / РГУ имени С.А. Есенина. Рязань : Арткль : ПРИЗ, 2013. 292 с.



*Рис. 1.* Распределение электронов по энергиям, ход потенциала (I) и светового излучения (II) по длине бегущей страты смеси ртуть-аргон. Давление, мм рт. ст.: ртуть —  $1,3 \cdot 10^{-3}$ , аргон — 0,2. Ток 200 мА. Диаметр трубки 60 мм

– На основе анализа оптических и электрических характеристик разряда и уравнений баланса исследуемых активных сред изучены механизмы заселения энергетических уровней. Впервые (1965–1967 гг.) обнаружены процессы интенсивного разрушения верхних уровней атомов ртути (смесь ртуть-криптон) за счет столкновения атомов с очень медленными электронами, определено сечение ( $10^{11}$ – $10^{12}$  см<sup>2</sup>) этих процессов (В.А. Степанов). Теоретически эти процессы рассчитаны и обоснованы в Физическом институте имени П.Н. Лебедева Российской академии наук в начале 1970-х годов, являются одной из причин уменьшения (срыва) инверсии заселенности и прекращения генерации в инертных газах при увеличении, например, тока (концентрации электронов) и используются сегодня при создании рекомбинационных лазеров.

– При исследовании условий реализации инверсии заселенности в смеси гелия с неоном при возбуждении ее пучком быстрых электронов с энергией около 25 eV с помощью плоского протяженного (220x10 мм) оксидного катода получена рекордная и по сей день генерация на длине волны 1,15 мкм с мощностью излучения около 100 мВт. Впервые определены и сформулированы условия и ограничения для накачки активных газовых сред пучком быстрых электронов. Проведенные исследования позволили создать в 1966 году гелий-неоновый лазер ЛГ-116 с излучением на длине волны 1,15 мкм. В 1967 году этот лазер демонстрировался на выставке в городе Осака (Япония) (В.А. Степанов, М.К. Дятлов, Ю.Н. Куликов).

– При изучении процесса возбуждения инертных газов в сильноточном разряде в капилляре проведен уникальный, никем в мире не повторенный эксперимент и получены результаты по радиальному распределению электронов и нормальных атомов в активной среде при широком изменении условий разряда (В.В. Кюн, В.А. Степанов). Исследовались процессы и режимы охлаждения разрядного промежутка и системы питания, возможности изменения конструкции разрядной трубки и др. В результате этих исследований впервые в мире создан аргоновый лазер, кварцевый капилляр трубки которого заменен на вольфрамовую спираль длиной 250 мм. Лазер имел воздушное охлаждение и мог работать в режиме переменного тока от сети 220 В при использовании двух симметричных катодов. Разработан оригинальный, защищенный патентом способ перестройки длины волны генерации ионного лазера за счет изменения давления газа в отпаянной трубке с помощью металлического сильфона (В.В. Кюн, Т.Т. Гурьев, В.А. Степанов).

– Впервые для отечественных газовых лазеров решена комплексная проблема их инженерного компьютерного проектирования, объединяющая задачи: корпуса, резонатора, источников питания, активного элемента, систем охлаждения и стабилизации и других элементов лазеров единой идеологией, разделив их по отдельным частям (В.А. Степанов).

– Разработан унифицированный подход с использованием программ на ЭВМ к созданию источников питания для любых типов газовых лазеров с позиций нелинейного выходного радиотехнического контура, параметры элементов которого зависят от характеристик газового разряда активной среды и способов размещения разрядной трубки внутри корпуса резонатора (В.И. Пшеничников, Н.В. Коненков, В.А. Степанов).

На рисунке 2 а представлена коаксиальная система, соответствующая случаю, когда длинную разрядную трубку помещают соосно в металлическую трубу. Между плазменным шнуром и металлической оболочкой возникает «горячая» распределенная емкость, величина которой на единицу длины равна:

$$C = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon / \ln \left[ \left( \frac{R_0}{r+d} \right)^e \frac{r+d}{r} \right],$$

где  $R_0$  — внутренний радиус трубы;  $r$  — внутренний радиус разрядного канала;  $d$  — толщина стенок разрядной трубки;  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость материала разрядной трубки;  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

Эквивалентная схема распределенной коаксиальной активной волновой и в общем нелинейной системы представлена на рисунке 2 б. На концах линии включены сосредоточенные резисторы  $R_a$  и  $R_k$ .

Величина  $z$  соответствует погонному импедансу положительного столба разряда. Условия отсутствия разрывных (релаксационных) автоколебаний определены в линейном приближении.

В качестве модели импеданса, отражающего существующие черты динамического при малых возмущениях в области частот, где  $\text{Re}z(j\omega) < 0$ , можно взять цепь, показанную на рисунке 2 в.

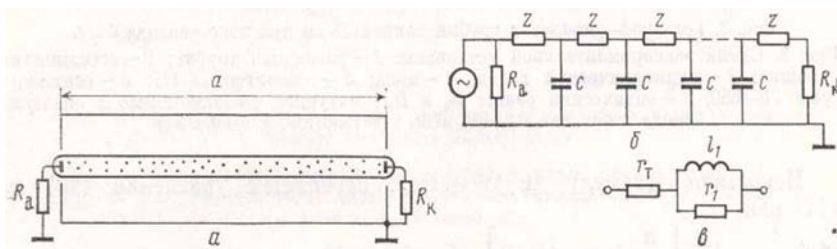


Рис. 2. Разрядная трубка с внешней оболочкой и ее эквивалентная схема  
 а — разрядная трубка; б — эквивалентная длинная линия; в — модель импеданса ПС

Решение поставленной задачи отражает только некоторые моменты динамического поведения рассматриваемой системы, нашедшей экспериментальное подтверждение при разработке конкретных гелий-неоновых лазеров для специальных устройств (Н.В. Коненков, Г.В. Мелехин, В.А. Степанов).

– Разработан унифицированный подход к конструированию стержневых коаксиальных резонаторов газоразрядных лазеров на примере распределенной несимметричной конструкции с сосредоточенными массами, упругими и жесткими креплениями, учитывающей возможные в широком диапазоне параметров статистические и динамические вибрационные нагрузки (О.Г. Смиренский, В.А. Степанов).

– Разработана методика компьютерного инженерного расчета гелий-неоновых лазеров с поперечным ВЧ возбуждением, включающая в себя: модель и эквивалентную схему поперечного высокочастотного разряда в узких капиллярах; способ определения энергетического спектра электронов, расчета заселенности энергетических уровней гелия и неона и радиального распределения параметров плазмы; зависимость выходных характеристик излучения лазера от параметров активной среды и способов согласования с ВЧ генератором (В.А. Оськин, В.А. Степанов).

– Разработаны компьютерные методы расчета активной среды и параметров (коэффициента усиления и мощности излучения) гелий-неоновых, аргоновых, гелий-кадмиевых, азотных и  $\text{CO}_2$ -лазеров в зависимости от параметров активной среды (давление, ток, диаметр и длина разрядной трубки, соотношение компонентов смеси и т. д.), учитывающие влияние различных видов резонаторов, степени диссоциации газов в разряде и т. д. (С.И. Мольков, В.И. Новиков, В.А. Степанов).

В качестве примера на рисунках 3 и 4 приведены результаты, учитывающие влияние однородного и неоднородного уширения при создании мощных (несколько Вт) одночастотных аргоновых лазеров на ионизированных переходах. (В.Ф. Быковский, С.И. Мольков, В.А. Степанов, В.С. Хилов, С.И. Хилов).

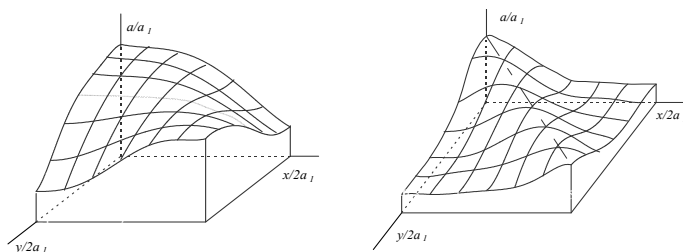


Рис. 3. Зависимость отношения  $a/a_1 = \Delta v_1 / \Delta v_{L0}$ , характеризующего ширину линии генерации от частот  $x/2a$  и  $y/2a$ , при разных значениях нормированной интенсивности линии  $P_1$ : 100 (а), 10 (б)

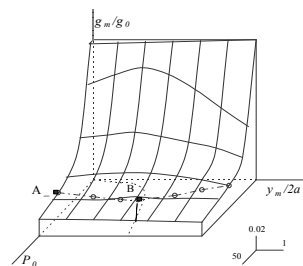


Рис. 4. Зависимости коэффициента усиления  $g_m/g_0$  от расстройки частоты  $y_m/2a$  и нормированной интенсивности  $P_0$  при значениях  $I_1/I_0 = 10$  и  $a_1 = 0,1$  — зависимость оптимальной расстройки  $(y_m/2a)^{opt}$  от  $P_0$

– Комплекс работ по изучению физических процессов, способа возбуждения, поддержания равномерности горения разряда и стабильности состава газа в течение длительного периода времени позволили разработать инженерный компьютерный метод расчетов параметров и создать первый отечественный малогабаритный отпаянный ТЕА-СО<sub>2</sub>-лазер (Б.А. Козлов, В.Н. Коротченко, В.А. Степанов).

– Комплекс работ по исследованию колебательно-волновых процессов в тлеющем разряде, в гелий-неоновой и гелий-кадмиевой смесях позволил установить механизмы образования стратовых и релаксационных колебаний, условия возникновения бифуркационных стохастических колебаний и связь их с параметрами активных элементов (ток, давление, соотношение компонентов, диаметр трубки и т. д.) с режимами их технологической обработки, характеристиками холодных катодов (М.В. Чиркин, В.А. Степанов, Л.С. Александров, А.Ф. Маннанов, Д.А. Морозов).

На рисунке 5 приведены фазовые портреты и спектры колебаний тока разряда. В плазме возбуждается несколько автоколебательных мод, которым соответствуют гармоники в диапазоне частот 800–1200 кГц. Кроме того, в низкочастотной области спектра имеются колебания, соответствующие разностным частотам страт, глубина модуляции тока в которых значительно превышает глубину модуляции тока на основных частотах страт. Математическим образом таких колебаний в фазовом пространстве системы является инвариантный двумерный тор. В диапазоне токов 5,0–5,8 мА существуют два устойчивых состояния системы, каждая из которых представляет собой двухчастотные квазипериодические коле-

бания. Проекция этих колебаний двумерных торов на экран осциллографа приведены на рисунке 5 а, б. Переход из одного состояния в другое происходит скачкообразно и хаотически в течение от нескольких минут до нескольких секунд. Дальнейшее увеличение тока приводит к прекращению переключения системы из одного состояния в другое. После перехода через пороговое значение тока (6,1 мА) в низкочастотной области появляется интенсивный участок сплошного спектра (рис. 5 в). Гармоники, соответствующие отдельным модам стратовых колебаний, превращаются в линии с конечной шириной. Наблюдаемая в данном случае бифуркация представляет собой разрушение двумерного тора, вместо которого в фазовом пространстве возникает странный аттрактор.

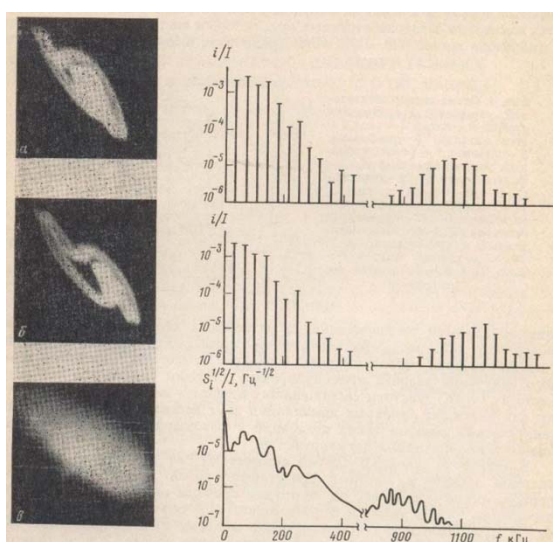


Рис. 5. Фазовые портреты и спектры колебаний в плазме: двумерные торы с разностными частотами 34,75 кГц (а) и 35,50 (б) при  $I = 5,4$  мА; странный аттрактор (в) при токе  $I = 6,2$  мА;

$I$  — переменная и постоянная составляющая тока разряда;

$S_i$  — спектральная плотность шума тока в разряде

Механизм перехода к хаосу в положительном столбе разряда подтверждает общий характер закономерностей возникновения стохастичности и для других автоколебательных систем (Г.В. Мелехин, И.Ю. Москвичева, В.А. Степанов, М.В. Чиркин).

– Проведенные исследования колебательно-волновых процессов позволили установить корреляцию между амплитудой, частотой и видом колебаний с ресурсом гелий-неоновых линейных и кольцевых лазеров, что дало возможность разработать технологию изготовления холодных катодов с минимальной работой выхода и неразрушающие методы и аппаратуру, не имеющие аналогов для ускоренного контроля ресурса этих лазеров. Технология изготовления холодных ка-

тодов для линейных и кольцевых гелий-неоновых лазеров и методика неразрушающего контроля качества отдельных элементов, приборов в целом и технологических процессов изготовления внедрена в производстве НИИ ГРП, Львовского НПО «Полярон» и ЗАО «Завод Лазеравиа» (г. Серпухов, Московская область) (М.В. Чиркин, Д.А. Морозов, О.Н. Крютченко, В.А. Степанов).

– Впервые разработана технология и оборудование для герметизации активных элементов с помощью лазерной заварки окон из оптического стекла ЛК-4 со стеклом С52-1 (А.М. Кодылев, В.А. Степанов, И.И. Косарев.).

– Использование компьютерных методов расчета активной среды и параметров лазеров на ионизированных инертных газах (С.И. Мольков, В.А. Степанов) и наличие технологий пайки металлокерамических активных элементов из бериллиевой керамики и технологии заварки оптических окон из ЛК-4 со стеклом позволило провести комплекс научно-технологических работ по унификации активных элементов и узлов, разработке инженерных методов конструирования лазеров на ионизированном аргоне и криптоне нового поколения с повышенной надежностью и долговечностью (В.А. Хохулин).

– Наглядным примером хорошего взаимодействия науки и производства и реализации комплексного подхода при разработке и внедрении инженерных методов проектирования газовых лазеров служит также создание волноводного щелевого  $\text{CO}_2$ -лазера с поперечным ВЧ возбуждением. Работа продолжалась в течение нескольких лет (с 2001 по 2009 год). За это время разработаны методы расчета неустойчивых резонаторов и их влияние на выходные характеристики щелевых волноводных  $\text{CO}_2$ -лазеров, изучены процессы и возможности стабилизации газового состава, влияние и способы поддержания устойчивого ВЧ разряда, унифицированные технологические процессы пайки и герметизации и др. (Е.Ф. Шишканов, С.И. Мольков, В.Н. Очкин, В.А. Степанов). Результатом этой комплексной научно-конструкторско-технологической работы является разработка одночастотного волноводного цельнопаяного металлокерамического  $\text{CO}_2$ -лазера LCDP-200 (Е.Ф. Шишканов, В.В. Кюн) с рекордной удельной мощностью излучения 200 Вт при длине излучателя 720 мм и долговечностью 2000 часов.

– С единых методологических позиций проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, позволивший разработать основы создания высокоточных лазерных измерителей контурных размеров сложных крупногабаритных деталей, лазерных триангуляционных измерителей, способных измерять профиль деталей, имеющих фрактальные поверхности с различной шероховатостью и наличием локальных дефектов, эффективных внешних средств стабилизации мощности лазерного излучения (В.Н. Демкин, В.А. Степанов). На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана серия высокоточных лазерных измерителей по параметрам, не уступающим лучшим зарубежным аналогам и успешно внедренных в технологические процессы производства в железнодорожном транспорте, строительных материалов, машиностроения (В.Н. Демкин).

– Комплекс теоретических и экспериментальных исследований излучения твердотельного Nd:YAG лазера с накачкой лазерными диодами позволил впервые



установить влияние наведенного двулучепреломления в кристалле лазера на параметры излучения; выработаны рекомендации по их совершенствованию для различных оптических систем (О.Л. Головков, Г.А. Купцова, В.А. Степанов).

– Предложены методика и модель расчета времени релаксации электронных носителей при электронных взаимодействиях с учетом стохастических автоколебаний в InAs/AlSb наноструктурах. Определены впервые условия и механизмы, обеспечивающие низкие времена релаксации носителей в системе InAs/AlSb. Важным с практической точки зрения для создания быстродействующих приборов среднего ИК диапазона является определение квантового времени релаксации электронов, которое составляет  $\sim 10^{-14}$ - $10^{-15}$ с (М.М. Афанасова, В.А. Степанов).

– Разработана впервые технология гетероструктур CdS/Si на основе гидрохимического осаждения CdS и модель, объясняющая механизмы токопереноса в гетероструктуре CdS/Si в зависимости от плотности поверхностных состояний (В.В. Трегулов, Г.Н. Скопцова, В.А. Степанов).

– Разработана не имеющая аналогов статистическая педагогическая модель интеллектуального испытания учащихся. Педагогические и статистические параметры олимпиадного задания, рассчитанные в двух- и трех-уровневом вариантах, и разработанная методика испытания школьников региональных олимпиад способствуют переводу их впервые в режим талантосбережения с сохранением всего ценного, что накопила Всероссийская олимпиада за многие годы своего существования. Применение ее в Рязани позволило в течение нескольких лет победителям областных туров быть призерами зональных туров и членами сборной России на международных физических олимпиадах.

Созданы комплекты физических олимпиадных задач, опубликованные в 10 выпусках сборника «Рязанские физические олимпиады», а также сборник экспериментальных задач по физике, банки физических задач в интернете (Б.С. Кирьяков, Н.И. Ермаков, Д.В. Морин, С.Г. Моисеев, В.А. Степанов).

– Разработана концепция интегративного подхода к осуществлению школьного учебного физического эксперимента в единстве четырех ее направлений: межпредметной, внутрипредметной, межличностной и внутриличностной интеграции (А.В. Ельцов, В.А. Степанов).

– Разработаны защищенные патентами индивидуальное рабочее место учащегося (рис. 6), обеспечивающее широкую функциональную возможность действий учащихся во время урока, создающее благоприятные условия для осуществления разнообразных приемов и методов личностно ориентированного обучения, и многофункциональный модульный блок приборов, позволяющий по всем разделам школьного курса физики сделать вариативными большинство учебных экспериментов (А.В. Ельцов, В.А. Степанов, С.В. Мурзин).



Рис. 6. Индивидуальное рабочее место учащегося

– Комплекс работ по расширению возможностей использования компьютерных информационных технологий и принципов системности и наглядности при изучении физики и технических дисциплин позволил разработать не имеющие аналогов учебные видеофильмы («Холодная штамповка», «Лазерные технологии обработки материалов», «Ковка металла», «Литье», «Вакуумное напыление», «Порошковое покрытие», «Лазерная резка металлов» и др.), мультимедийные средства, обучающие и контролирующие программы, предусматривающие использование различных видов учебного эксперимента: демонстрационного, численного, натурного, автоматизированного (В.И. Доронин, И.А. Захаркин, В.А. Степанов, А.В. Ельцов, О.В. Кузнецова, А.М. Шуйцев, Е.В. Овчинникова).

– Формирование компетенции специалистов впервые представлено в рамках многомерной, многоуровневой системы непрерывного образования при изучении физики и инженерно-технологических дисциплин: от среднего общего и специального образования; бакалавров и магистров в условиях высшего профессионального образования до послевузовского образования при организации курсов повышения квалификации (рис. 7). Многомерная образовательная среда впервые представлена в виде спирали качества, обеспечивающей непрерывную связь образовательных, воспитательных и управленческих видов деятельности на всех уровнях физического и инженерно-технологического образования (В.А. Степанов, Н.Б. Федорова, Е.В. Овчинникова, О.В. Кузнецова).

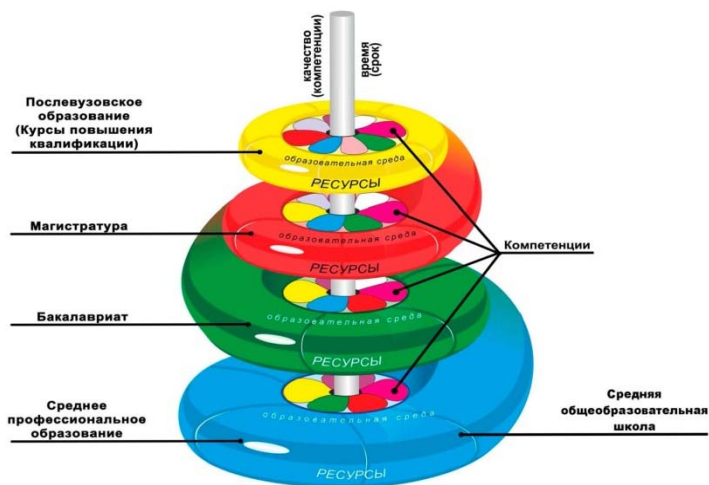


Рис. 7. Спираль качества

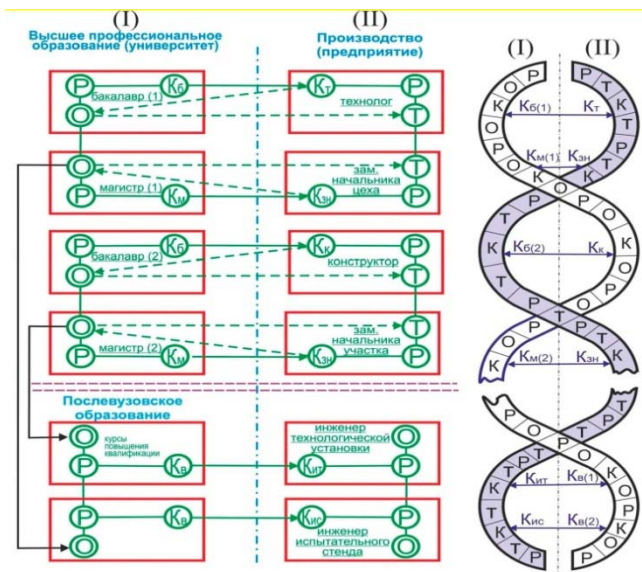


Рис. 8. Двойная спираль качества

Связь образовательной среды с производством представлена впервые в виде двойной спирали, качество подготовки специалистов которой определяется эффективностью обратных связей между вузом и предприятием (рис. 8). Двойная спираль качества является неким ДНК вуза, характеристикой его эффективности; имеет протяженность, зависящую от количества направлений подготовки, лицензированных и аккредитованных вузом, и количество предприятий, с которыми заключены долговременные договоры (В.А. Степанов, Н.Б. Федорова, Е.В. Овчинникова).

– Организация научно-образовательного центра (консорциума) «Лазерные системы, нанотехнологии и методы диагностики» («МЕРА») с участием промышленных предприятий, обеспечивающего интеграцию образования, науки и производства, расширяющего научно-исследовательскую и научно-технологическую базу для повышения качества подготовки специалистов; возможность участия Рязани в работах Лазерной ассоциации и технологической платформы «Фотоника» с привлечением студентов и молодых ученых по современным направлениям наноэлектроники, лазерной техники и ресурсосбережения (В.А. Степанов, Е.Я. Черняк, В.Н. Демкин, Е.Б. Трунин, С.И. Хилов).

Научные результаты В.А. Степанова и его учеников обеспечили высокий имидж созданной им научной школы по физике низкотемпературной плазмы, колебательно-волновым процессам, технике и технологии газоразрядных лазеров, а также высокий уровень, качество (долговечность до 100 тыс. часов) и известность разработанных и освоенных в производстве приборов в России и за рубежом (Белоруссия, Украина, Узбекистан, Латвия, США, Германия, Япония, Канада, Корея и др.); позволили продолжить, развить и многократно приумножить успехи рязанской методической школы профессора В.П. Орехова по обучению физике в школе и вузе, созданию системы непрерывного физического и инженерно-технологического образования; способствовали превращению Рязани в один из ведущих лазерных городов и один из активно действующих центров методической школы России.

В.А. Степанов за вклад в создание научной базы и производство газовых лазеров в Рязани награжден знаком Великого князя Олега Рязанского, серебряной медалью имени академика В.Ф. Уткина, премией победителя конкурса научных работ, посвященного памяти академика В.Ф. Уткина, медалью «За заслуги перед предприятием ОАО «Плазма»».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Степанов, В.А. Газовые лазеры в Рязани [Текст] // Как это было: к 50-летию создания лазеров (воспоминания создателей лазеров в России). — М. : Лазерная ассоциация, 2010. — Ч. 2. — С. 128–156.
2. Степанов, В.А. Гибридный неустойчиво волноводный резонатор и выходные характеристики CO<sub>2</sub> лазера ВЧ возбуждением [Текст] / В.А. Степанов, С.И. Мольков, Г.Ф. Шишканов // ЖПС. 199. — Т. 66, № 6. — С. 784–791.
3. Степанов, В.А. Лазерные методы и средства контроля геометрических размеров деталей [Текст] / В.А. Степанов, В.Н. Демкин // Измерительная техника. — 2007. — № 11. — С. 84–89.
4. Степанов, В.А. Учет скорости релаксационных переходов между подуровнями мультиплета в спектре генерации YAG:ND-лазера [Текст] / В.А. Степанов, О.Л. Головкин, Г.А. Купцова // Научно-технические ведомости С.-Петерб. ГПУ. Физико-математические науки. — 2014. — № 3/201. — С. 74–80.
5. Степанов, В.А. Физические олимпиады как массовое соревнование школьников [Текст] / В.А. Степанов, Б.С. Кирьяков // Наука и школа. — 1999. — № 6. — С. 41–46.

6. Степанов, В.А. Совершенствование оборудования школьного кабинета для проведения современного физического практикума [Текст] / В.А. Степанов, А.В. Ельцов, С.В. Мурзин, В.В. Трегулов // Физическое образование в вузах. — 2002. — Т. 8, № 3. — С. 103–107.
7. Степанов, В.А. Учебный видеофильм «Литье металла» [Электронный ресурс] / В.А. Степанов, В.И. Доронин, С.А. Булыгин, А.М. Шуйцев // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 18415. 2012. № 6/37. С. 19. — Режим доступа : <http://ofer-mio.ru/portal/newspaper.php>
8. Степанов, В.А. Формирование компетенций учителей физики в многомерной системе непрерывного образования [Текст] / В.А. Степанов, О.В. Кузнецова, Е.В. Овчинникова, Н.С. Пурышева, Н.Б. Федорова // Российский научный журнал. — 2013. — № 2/33. — С. 89–103.
9. Степанов, В.А. Многоуровневая система непрерывной подготовки специалистов профессионального образования и ее связь с производством [Текст] / В.А. Степанов, Н.Б. Федорова, Е.В. Овчинникова // Известия РАН. — 2013. — № 3. — С. 97–108.
10. Степанов, В.А. Педагог, ученый, личность [Текст] / РГУ имени С.А. Есенина. — Рязань : Арктикль : ПРИЗ, 2013. — 292 с.
11. Степанов, В.А. Повышение качества подготовки специалистов по нанотехнологии в РГУ через научно-образовательный центр [Текст] / В.А. Степанов, Н.В. Коненков, Е.Н. Моос, Е.Я. Черняк // Школа будущего. — 2009. — № 3. — С. 90–95.
12. Степанов, В.А. Распределение электронов по энергиям и процессы возбуждения в движущихся стратах в положительном столбе разряда [Текст] / В.А. Степанов, О.Н. Орешак, Е.П. Остапенко // Обзоры по электронной технике. — М. : Изд-во ин-та «Электроника», 1969. — 75 с.
13. Степанов, В.А. Исследование процессов возбуждения в протяженном диоде [Текст] / В.А. Степанов, М.К. Дятлов, Ю.Н. Куликов, Е.П. Остапенко. Ч. 1–2 // Оптика и спектроскопия. — 1970. — Т. 29. — Вып. 3. — С. 471–457 ; Вып. 4. — С. 632–637.
14. Степанов, В.А. Измерение распределения атомов и электронов в сильноточном разряде по сечению капилляра [Текст] / В.А. Степанов, Т.Т. Гурьев, В.В. Кюн, Е.П. Остапенко // Журнал технической физики. — 1970. — Т. 11. — Вып. 4. — С. 781–785.
15. Степанов, В.А. Условия отсутствия разрывных колебаний в системе положительный столб разряда — внешняя металлическая оболочка [Текст] / Н.В. Коненков, Г.В. Мелехин, В.А. Степанов // Радиотехника и электроника. — 1985. — Т. XXX. — Вып. 2. — С. 346–351.
16. Степанов, В.А. Мощный источник когерентного излучения для оптической голографии и рамановской спектроскопии [Текст] / В.А. Степанов, В.Ф. Быковски, С.И. Мольков, В.С. Хиллов, С.И. Хиллов // Научно-технический вестник С.-Петербур. ГПУ. — Сер. Физико-математические науки. — 2013. — № 1. — С. 71–79
17. Степанов, В.А. Влияние колебательных процессов в плазме газоразрядных лазеров как источник диагностической информации [Текст] / В.А. Степанов, М.В. Чиркин // Научное приборостроение. РАН. — 1992. — Т. 2, № 3. — С. 7–20.
18. Степанов, В.А. Закономерности возникновения хаоса при разрушении квазипериодического режима генерации страт в положительном столбе газового разряда [Текст] / В.А. Степанов, И.Ю. Москвичева, Г.В. Мелехин, М.В. Чиркин // Радиотехника и электроника. — 1986. — Т. 31, № 129. — С. 1176–1181.
19. Stepanov, V.A. The stability of the active medium of RF-exited CO<sub>2</sub> lasers with gold as catalyst [Текст] / V.A. Stepanov, V.M. Cheresov, M.Z. Novgorodov, V.N. Ochkin, E.F. Shishkanov // Appl. Phys. B. lasers and Optics. — 2000. — Bd. 71. — P. 503–508.

20. Stepanov, V.A. The role of electron-electron and electron-phonon interactions in the processes of dest of landau qantization in InAs/AlSb nanostructures [Текст] / V.A. Stepanov, M.M. Afanasova // Russian Physics Journal. — 2009. — Vol. 52, Iss. 8. — P. 789–794.

## REFERENCES

1. Stepanov, V.A. Gazovyelazery v Ryazani [Text] // Kak eto bylo: k 50-letiyu sozdaniyalazerov (vospominaniya sozdateley lazerov v Rossii) [Text] [There are gas lasers in Ryazan // How it was: the 50th anniversary of the creation of lasers (creators' lasers memories in Russia)]. — Moscow : Laser association, 2010. — Part 2. — P. 128–156.

2. Stepanov, V.A. Zakonomernosti voznikoveniya khaosa prirazrusheniikvazi periodicheskogo rezhima generatsii v polozhitel'nom stolbegazovogorazryada [The rules of the occurrence of chaos in the destruction of a quasiperiodic mode of strata oscillation in the positive column of a gas discharge] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Radiotekhnika i ehlektronika. — Technology and Electronics. — 1986. — Vol. 31, N 129. — P. 1176–1181.

3. Stepanov, V.A. Gibridnyy neustoychivovo inovodnyy rezonatori vykhodnye kharakteristiki SO<sub>2</sub> lazera VCH возбуждением [The hybrid unstable waveguide resonator and the output characteristics of CO<sub>2</sub> laser by high frequency excitement] [Text] / V.A. Stepanov, S.I. Mol'kov, G.F. Shishkanov // ZHPS. — 199. — Vol. 66, N 6. — P. 784–791.

4. Stepanov, V.A. The stability of the active medium of RF-exited CO<sub>2</sub> lasers with gold as catalyst [Text] / Stepanov V.A. [et al.] // Appl. Phys. B. lasers and Optics. — 2000. — Bd. 71. — P. 503–508.

5. Stepanov, V.A. Lazernye metody i sredstva kontrolya geometricheskikh razmerov detaley [Laser techniques and controls the geometric dimensions of details] [Text] / V.A. Stepanov, V.N. Demkin // Izmeritel'naya tekhnika-Measuring equipment. — 2007. — N 11. — P. 84–89.

6. Stepanov, V.A. Uchet skorosti relaksatsionnykh perekhodov mezhdru podurovnyamimul'tipleta v spektre generatsii YAG÷ND-lazera [Accounting rate of relaxation transitions between the sublevels of a multiplet in the spectrum generation YAG ÷ ND-laser] [Text] / V.A. Stepanov, O.L. Golovkov, G.A. Kuptsova // Nauchno-tekhnicheskie Vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskie nauki — Scientific and technical journal of SPbSTU. Physics and mathematics. — 2014. — N 3/201. — P. 74–80.

7. Stepanov, V.A. The role of electron-electron and electron-phonon interactions in the processes of dest of landau qantization in InAs/AlSb nanostructures [Text] / V.A. Stepanov, M.M. Afanasova // Russian Physics Journal. — 2009. — Vol. 52, Iss. 8. — P. 789–794.

8. Stepanov, V.A. Fizicheskie olimpiady kak massovoe sorevnovanie shkol'nikov [Physical Olympics as the massive competition for pupils] [Text] / V.A. Stepanov, B.S. Kir'yakov // Nauka i shkola — Science and school. — 1999. — N 6. — P. 41–46.

9. Stepanov, V.A. Sovershenstvo vanie oborudovaniya shkol'nogo kabineta dlya provedeniya sovremennogo fizicheskogo praktikuma [Improving the laboratories' equipment for modern physical practicum] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Fizicheskoe obrazovanie v vu-zakh. — hysics in Institution of Higher Education. — 2002. — Vol. 8, N 3. — P. 103–107.

10. Stepanov, V.A. Uchebnyy videofil'm «Lit'emetalla» [Electronic resource] / Stepanov V.A. [et al.] // Svidetel'stvo o registratsii ehlektronnogo resursa N 18415 [Training video “Metal Casting” certificate of registration of an electronic resource N 18415]. — 2012. — N 6/37. — P. 19. — Rezhim dostupa : <http://ofermio.ru/portal/newspaper.php>

11. Stepanov, V.A. Formirovanie kompetentsi yuchiteley fiziki mnogomernoy sisteme nepreryvnogo obrazovaniya [Formation of competence of teachers of physics in a multidimensional system of continuous education] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Russian scientific journal. — 2013. — N 2/33. — P. 89–103.

12. Stepanov, V.A. Pedagog, uchenyy, lichnost' [The teacher, the scientist, the person] [Text] / Ryazan Izd-vo RGU im. S.A. Esenina — Publishing house of Ryazan State University named for S.A. Yesenin. — Ryazan : Artikl' : PRIZ, 2013. — 292 p.

13. Stepanov, V.A. Mnogourovnevaya Sistema nepreryvnoy podgotovki spetsialistov professional'nogo obrazovaniya i ee svyaz' s proizvodstvom [Multilevel system of continuous training of experts of vocational education and its connection with the production] [Text] / V.A. Stepanov, N.B. Fedorova, E.V. Ovchinnikova // Izvestiya RAN — Bulletin of the Russian Academy of Sciences. — N 3. — P. 97–108.

14. Stepanov, V.A. Povysheniye kachestv podgotovki spetsialistov v oblasti nanotekhnologii v RGU cherez Nauchno-obrazovatel'nyy Tsentr [Improving the quality of training of experts in the sphere of nanotechnology in RSU with help of Research and Education Center] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Shkola buduschego — School of the Future. — 2009. — N 3. — P. 90–95.

15. Stepanov, V.A. Raspredeleniye ehlektronov po ehnergiyam iprotsess yvozbuzhdeniya v dvizhushchikh syastratakh v polozhitel'nom stolbe razryada / V.A. Stepanov, O.N. Oreshak, E.P. Ostapenko // Obzor po ehlektronnoy tekhnike. — [Electron energy distribution and process of excitation in moving strata in the positive column discharge. — References of Electronics]. — Moscow : Publishing House of the Institute of the “Electronics”, 1969. — 75 p.

16. Stepanov, V.A. Issledovanie protsessov vozbuzhdeniya v protyazhennom diode. — Part 1–2. [Investigation of the processes of excitation in an extended diode. — Part 1–2] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Optika i spektroskopiya — Optics and spectroscopy. — 1970. — Vol. 29. — Ed. 3. — P. 471–457 ; Ed. 4. — P. 632–637.

17. Stepanov, V.A. Izmereniye raspredeleniya atomov i ehlektronov v sil'notochnom razryade posecheniyu kapillyara [Measuring of atoms and electrons distribution in high-current discharge over the cross section of the capillary] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — [Journal of applied physics]. — 1970. — Vol. 11. — Ed. 4. — P. 781–785.

18. Kononkov, N.V. Usloviya otsutstviya razryvnykh kolebaniy v sisteme polozhitel'nykh stolbov razryada — vneshnyaya metallicheskaya obolochka [Conditions of the absence of discontinuous oscillations in the positive column of a discharge — the outer metal shell] [Text] / N.V. Kononkov, G.V. Melekhin, V.A. Stepanov // Radiotekhnika i ehlektronika—Technology and Electronics. — 1985. — Vol. XXX. — Ed. 2. — P. 346–351.

19. Stepanov, V.A. Moschnyy istochnik kogerentnogo izlucheniya dlya opticheskoy golografiiramanovskoy spektroskopii [Powerful source of coherent radiation to optical holography and Raman spectroscopy] [Text] / V.A. Stepanov [et al.] // Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik SPbGPU. — Ser. Fiziko-matematicheskie nauki — Scientific and Technical bulletin of SPbSTU. Series. Physics and mathematics. — 2013. — N 1. — P. 71–79.

20. Stepanov, V.A. Vliyaniye kolebatel'nykh protsessov v plazmegazorazryadnykh lazerov kak istochnik diagnosticheskoy informatsii [Influence of oscillating processes in the plasma of gas discharge lasers as a source of diagnostic information] [Text] / V.A. Stepanov, M.V. Chirkin // Nauchnoye priborostroeniye. RAN. — Scientific instrumentation. Russian Academy of Sciences. — 1992. — Vol. 2, N 3. — P. 7–20.