

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

# **ПРОБЛЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И БИОФОТОНИКИ SFM-2023**

Материалы 11-го Международного симпозиума и  
27-ой Международной молодежной научной школы  
Saratov Fall Meeting 2023

Под редакцией Г. В. Симоненко, В. В. Тучина

25 сентября по 29 сентября 2023 года

Саратов



Саратов  
САРАТОВСКИЙ ИСТОЧНИК  
2024

УДК 535(068)  
ББК 22.343.43  
П78

**Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2023:** материалы Международного симпозиума и Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting 2023 / под ред. Г. В. Симоненко, В. В. Тучина. – Саратов : Изд - во «Саратовский источник», 2024. – 116с. : ил.  
ISBN 978-5-6051393-0-0

В сборник вошли приглашенные лекции и доклады участников 11-го Международного симпозиума по оптике и биофотонике и 27-ой Международной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике, организованных и проведенных в Саратове с 25 сентября по 29 сентября 2023 года.

Для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов физических факультетов университетов, специализирующихся в области оптики, лазерной физики, оптических технологий в биофизике и медицине, спектроскопии и оптоэлектроники.

УДК 535(068)  
ББК 22.343.43

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И БИОФОТОНИКИ  
SFM-2023

Материалы 11-го Международного симпозиума по оптике и биофотонике и 27-й Международной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике

Под редакцией Г. В. Симоненко, В. В. Тучина

Оригинал-макет подготовила Н.А. Лакодина

Издательство «Саратовский источник»  
410012, Саратов, Саратовский источник, ул. Кутякова, 138б.

ISBN 978-5-6051393-0-0

© Саратовский государственный  
университет, 2024

	Страница
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b>	5
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИООБЪЕКТОВ</b>	7
<b>ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР СВЕРХСЛАБОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ САХАРОМИЦЕТ</b> Н.В. Дунин, В.Б. Дунин, С.А. Савинов, С.Н. Майбуров, Т.Е. Демихов, Е.И. Демихов	7
<b>ПРИМЕНЕНИЕЛИНЕЙНЫХУСКОРИТЕЛЕЙВЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙИКЛИНИЧ ЕСКОЙОНКОЛОГИИ</b> А.Д.Янкевич, А.Б.Бучарская	14
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРОВООБРАЩЕНИЯ УКАЗАТЕЛЬНОГО ПАЛЬЦА КИСТИ И ВТОРОГО ПАЛЬЦА СТОПЫ У ЛИЦ СРЕДНЕГО ВОЗРАСТА В ДИНАМИКЕ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЫ С НИТРОГЛИЦЕРИНОМ</b> И.Б.Исупов, Р.Ш.Затрудина, Р.А.Кудрин, В.Ю.Грибков	17
<b>ОПТИЧЕСКОЕ ПРОСВЕТЛЕНИЕ ДЛЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПРЕССИИ DCAS9/FP В ПОДКОЖНЫХ КСЕНОГРАФТАХ ОПУХОЛЕЙ У МЫШЕЙ</b> Г.А. Абушинова, В.В.Жердева, Л.Г. Малошенок	26
<b>ИССЛЕДОВАНИЕВОЗМОЖНОСТИПРИМЕНЕНИЯДЕКОРИРОВАННЫХОКСИДО МЖЕЛЕЗАУГЛЕРОДНЫХНАНОТРУБОКВКАЧЕСТВЕБИОСЕНСОРОВНОВОГОПО КОЛЕНИЯ</b> И.В.Запороцкова, С.В.Борознин, П.А.Запороцков, Н.П.Борознина, А.Р.Эль Занин	32
<b>СПЕКТРОСКОПИЯ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ</b>	40
<b>ЯМР СПЕКТРОСКОПИЯ В УСТАНОВЛЕНИИ СОСТАВА СМЕСИ ИЗОМЕРНЫХ СПИРОПИРРОЛИЗИДИНОВ</b> А.С. Кочуков, С.В. Борисова, В.В. Сорокин	40
<b>ЯМР И ИК СПЕКТРОСКОПИЯ В УСТАНОВЛЕНИИ СТРОЕНИЯ НОВЫХ (СПИРО)(ХРОМЕНО)ПИРАЗОЛИНОВ И ПИРАЗОЛОВЕ.</b> А. Константинова, Д.В. Видлацкая, К.А., Мелконян, А.А. Мещерякова, Б.Н. Пятунин, В.В. Сорокин	43
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАКЦИЙ ДИЕНОНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИКЛОГЕКСАНА С ПОЛИНУКЛЕОФИЛЬНЫМИ АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТАМИ СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ 2,6-БИС(4- ГИДРОКСИ-3-МЕТОКСИБЕНЗИЛИДЕН)ЦИКЛОГЕКСАНОНА</b> Д.А. Пузанов, Д.А. Рогов, Н.О. Василькова, А.П. Кривенько	47
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОНФОРМЕРОВ 2',3', 5',6', 2',6'- ДИГИДРОКСИФЛАВОНОВ</b> Е.В.Рыжова, Т.Ю.Суринаская, В.Ф.Пулин, П.М.Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, О.В.Пулин	51
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРА ФЛАВОНА В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ</b> Т.Ю.Суринаская, Е.В.Рыжова, В.Ф.Пулин, П.М.Элькин, Е.А.Джалмухамбетова, О.В.Пулин	56
<b>МЕТОДОЛОГИЯ И ИСТОРИЯ ФИЗИКИ</b>	62
<b>НЕОБРАТИМОСТЬ ВРЕМЕНИ В КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ</b> В. И. Цой	62
<b>НАУЧНОЕ И ПОЛИТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ VI СЪЕЗДА РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ</b> В. М. Аникин	64
<b>КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ</b> В. М. Аникин	67

<b>МАРШРУТ VI СЪЕЗДА РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ</b> В.М. Аникин, Д.В. Чурочкин, С.В. Чурочкина	73
<b>«БОЛЬШОЙ ДРУГ РУССКОЙ ФИЗИКИ»</b> <b>КАРЛ ШЕЕЛЬ</b> В. М. Аникин	83
<b>ИНОСТРАННЫЕ ФИЗИКИ В РЕСПУБЛИКЕ НЕМЦЕВ ПОВОЛЖЬЯ</b> Д.В. Чурочкин, С.В. Чурочкина	86
<b>ЗАСЕДАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ VI СЪЕЗДА РУССКИХ ФИЗИКОВ</b> Д.В. Чурочкин, С.В. Чурочкина	88
<b>М. БОРН НА VI СЪЕЗДЕ РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ И ВНЕ ЕГО</b> Д.В. Чурочкин, С.В. Чурочкина	90
<b>Г.П. БОЕВ И Б.В. ГНЕДЕНКО: НАУЧНОЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ СОДРУЖЕСТВО</b> Д.Б. Гнеденко, В.М. Аникин	92
<b>РАЗВИТИЕ ИНТЕРЕСА К ФИЗИКЕ В ОБЩЕМ КУРСЕ</b> М.А. Старшов	97
<b>МИКРООПЫТ ПО ОПТИКЕ</b> М.А. Старшов	98
<b>ФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ</b>	101
<b>НАВСТРЕЧУ 300 – ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. КНЯГИНЯ Е.Р.ДАШКОВА: СЛУЖЕНИЕ РОССИЙСКОЙ НАУКЕ И ПРОСВЕЩЕНИЮ</b> Б.А.Медведев	101
<b>ШЕСТЬДЕСЯТ ЛЕТ МЕТОДУ КОГЕРЕНТНЫХ СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ</b> А.В.Горохов	102
<b>НЕОБРАТИМОСТЬ ВРЕМЕНИ В УРАВНЕНИЯХ НЬЮТОНА И ШРЕДИНГЕРА</b> В.И. Цой	103
<b>О ДОКАЗАТЕЛЬНОСТИ В ФИЗИКЕ И В МАТЕМАТИКЕ</b> В.В. Розен	104
<b>АРКАДИЙ ДМИТРИЕВИЧ ЗАКРЕВСКИЙ – КИБЕРНЕТИК. К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ</b> Ю.А.Бродская	105
<b>ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ СТАФЕЕВ РАЗРАБОТЧИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ</b> А.Г.Роках	106
<b>ПУЛЬСАРЫ НАУЧНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИРОДЫ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ В XVIII СТОЛЕТИИ</b> В.В. Аникин	107
<b>ЗИНИН НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ. МОЛЕКУЛЫ ИСТОРИИ</b> В.В.Сорокин	108
<b>ОТ СТАНОВЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ НООСФЕРЫ В.И. ВЕРНАДСКОГО К ПНЕВМАТОСФЕРЕ П.А. ФЛОРЕНСКОГО</b> Б.А.Медведев, Ю.А.Бродская	109
<b>ВЕЛИКИЙ ВЕК НАЧАЛ</b> М.А. Старшов	111
<b>РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ТРАНСФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОСТИ</b> О.В. Шимельфениг	112
<b>«ТОЧКА СТАРТА» В РАЗВИТИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ НАУКИ И ВОЗМОЖНОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ ПОЗНАНИЯ</b> Ю.М. Дуплинская	113
<b>ИСТОКИ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ В РОССИИ: Э.Л. РАДЛОВ</b> <i>Н.В. Довгаленко</i>	114
<b>КРАТКАЯ ИСТОРИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ НОВАЦИЙ В ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКОЙ КУЛЬТУРЕ</b> В.В.Орлов	115

**ПРЕДИСЛОВИЕ**

В настоящий сборник частично включены материалы лекций, докладов и сообщений, которые были представлены на 27 – ой Международной междисциплинарной молодежной научной школе по оптике, лазерной физике и биофотонике, состоявшейся с 25 по 29 сентября 2023 года. Традиционно Школа Saratov Fall Meeting (SFM-23) проходила в очно – заочном формате и была посвящена 300 – летию Российской академии наук. Стоит отметить, что именно на конференции Saratov Fall Meeting в начале 2000х годов был предложен формат интернет – конференции, который успешно используется до сих пор, и который позволил в период пандемии не прекращать нашу работу. Все школы, начиная с первой, были организованы Саратовским государственным университетом и проведены в Саратове.

В 2023 году Школа собрала 328 участников из 13 стран, которыми было сделано более 200 докладов и сообщений, включая доклады Интернет – секции.

В рамках SFM-23 было проведено четыре продолжающихся семинара: «Современная оптика XXI», «Английский язык как средство коммуникации в научном сообществе XXI», «Менеджмент коммерциализации высоких технологий и региональные инновационные системы XVI», «История, методология и философия оптического образования XIV». Кроме этого в рамках школы прошла выставка оптических медицинских измерительных приборов «Ярмарка инновационных технологий в биофотонике». Студентам, молодым ученым и школьникам была предоставлена возможность прослушать лекции, посвященные актуальным проблемам биофотоники и применению оптических и лазерных технологий в биологии и медицине, точной механике и контролю тканей и клеток, когерентной оптике случайных и упорядоченных сред, материаловедению и науке об окружающей среде, нелинейной динамике, лазерных систем, лазерной физике, спектроскопии и молекулярного моделирования, нанофотоники и нанобиофотоники.

Стоит отметить, что в этом году активное участие в работе конференции приняли учащиеся старших классов школ г. Саратова. Живой интерес у молодых участников Школы вызвала лекция члена – корреспондента РАН, профессора, д. ф. – м.н. Наумова А.В. «Что такое «наноскопия», или как увидеть одну молекулу?». На лекции профессора присутствовало более 250 слушателей, которые активно задавали вопросы и участвовали в постановке учебных экспериментов.

Кроме представленного вашему вниманию сборника статей, будут подготовлены также специальные выпуски журналов «Оптика и спектроскопия», «Журнал технической физики», «Journal of Biomedical Photonics and Engineering» и «Journal Innovative Optical Health Science».

Организаторы Школы благодарят всех лекторов и участников за содержательные лекции, интересные доклады и плодотворные дискуссии, а также за большой труд по подготовке публикаций.

Организаторы Школы приносят глубокую благодарность всем профессорам, доцентам, докторантам, аспирантам и студентам Саратовского государственного университета, и научным сотрудникам Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской Академии Наук», принявшим активное участие в организации школы.

Официальными языками конференций и семинаров были русский и английский. По окончании школы студентам, аспирантам и молодым ученым, прослушавшим курсы лекций и подготовившим доклады на семинарах школы, выдавались соответствующие сертификаты. Учитывая важность, перспективность и методическую ценность научной тематики Школы, а также быстрый рост молодых кадров и необходимость их интегрирования в международную науку, решено провести очередную Школу в 2024 году.

*Председатель 27-й Международной междисциплинарной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике, член-корреспондент РАН, профессор, доктор физико - математических наук В.В. Тучин*

*Редактор сборника материалов 27-й Международной междисциплинарной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике, член организационного комитета конференции доцент, доктор физико - математических наук Г.В. Симоненко*

**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИООБЪЕКТОВ****ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР СВЕРХСЛАБОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ САХАРОМИЦЕТ**

Н.В. Дунин, В.Б. Дунин, С.А. Савинов, С.Н. Майбуров, Т.Е. Демихов, Е.И. Демихов

*Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва*

DOI:10.24412/el-37145-2023-1-7-14

В области биофотоники изучение образцов сахаромицет, часто включает в себя измерение оптических сигналов чрезвычайно низкого уровня. Одноканальные фотоэлектронные умножители (ФЭУ) зарекомендовали себя как незаменимые инструменты для обнаружения и количественной оценки одиночных фотонов, испускаемых биологическими образцами. При регистрации сверхслабого оптического излучения фотоэлектронными умножителями возникает проблема фильтрации полезного одноэлектронного сигнала небольшой ширины (несколько наносекунд) от одноэлектронных шумовых импульсов темнового тока. Для регистрации сверхслабого оптического излучения от биологических образцов создан одноканальный детектор на основе ФЭУ фирмы Hamamatsu, работающий в режиме счета фотонов, и электронный блок регистрации данных на основе микроконтроллера и ПЛИС для счета зарегистрированных импульсов.

**Введение**

Одноканальные детекторы с ФЭУ — это приборы, предназначенные для точного подсчета и регистрации отдельных фотонов. Фундаментальные принципы, лежащие в основе этих детекторов, делают их пригодными для измерений задач, требующих высокой чувствительности. Одним из способов изучения конденсированных сред на основе живых организмов является анализ сверхслабого оптического излучения, которое они излучают в процессе своей жизнедеятельности. Это излучение может быть крайне слабым, и его обнаружение представляет некоторую сложность и ряд инженерных вызовов для разработчиков детектирующей аппаратуры. Данная аппаратура использует принцип фотоэффекта, при котором фотоны, попадающие на поверхность ФЭУ, вызывают электронный каскад, увеличивая суммарное количество фотоэлектронов.

**Описание детекторной системы**

Разработанный одноканальный оптический детектор (рисунок 1) предназначен для регистрации сверхслабого оптического излучения биокультур и экспериментальной оценки интенсивности этого излучения в ходе эксперимента. Габаритные размеры зоны размещения блока детектора оптических фотонов не превышают 110 мм x 55 мм.

Длина волны, содержащая полезный сигнал, находится в диапазоне от 290 до 600 нм. Основные элементы одноканального детектора сверхслабых фотонных оптических излучений: фотоэлектронный умножитель R9880U (Hamamatsu Photonics), операционный усилитель AD8014 (Analog Devices), дискриминатор на основе компаратора AD8561 (Analog Devices), модуль высоковольтного питания C10 (Emco High Voltage).

Выходной сигнал с детектора сверхслабого оптического излучения представляет собой импульсы стандарта ТТЛ (логический ноль – от 0 до 0,3 В; логическая единица – от 2,5 до 3,3 В).

Характерная длительность выходных ТТЛ импульсов составляет 30-40 нс.

Низкое выходное сопротивление (~ 50 Ом) детектора оптического излучения позволяет снизить искажения и наводки при передаче сигнала к измерительному оборудованию (частотомер или модуль счёта фотонов).

Структура измерительного стенда представлена на рисунке 2. Источник питания (GPS-4303) подает на вход макетного образца ДООИ постоянное напряжения 12 вольт положительной и отрицательной полярностей. Следующие номиналы выходных токов источника, около 80 мА для положительной полярности и 20 мА для отрицательной



полярности, являющиеся верными для нормального режима работы детектора. Следующим шагом была проверка наличия на выходе макетного образца логических TTL импульсов правильной формы, которая производится с помощью осциллографа Tektronix. Алгоритм проверки следующий: было выставлено входное сопротивление осциллографа на 50 Ом, схема синхронизации и запуска развертки осциллографа переведена в ждущий режим, уровень срабатывания триггера установлен на +1 В. В результате на экране осциллографа были видны сигналы прямоугольной формы с амплитудой около 3 В и длительностью 30-40 нс.



Рис.1. Общий вид детектора в корпусе.

Для непосредственного проведения испытаний детектора его выход подключался к частотомеру (ЧЗ-85/3), на котором заранее выставлен порог срабатывания на 1 В (рисунок 3). Выбранное время накопления импульсов составляло 10 сек. В этом случае, искомая частота следования шумовых импульсов численно будет равна измеренному значению, деленному на 10.

Частота шумовых отсчётов ФЭУ может меняться в широких пределах в зависимости от внешних условий. Следует отметить, что значение уровня темновых шумов, указанных в паспорте ФЭУ не определяет реальное количество “паразитных” импульсов. Это связано с тем, что в детекторе оптических фотонов реализована схема отсекающей большей части темновых отсчётов, обусловленных термоэмиссией электронов с фотокатода и динодов, путем выставления соответствующего порога срабатывания дискриминатора.

Частота шумовых отсчётов будет определяться процессами черенковского излучения и/или генерации сцинтилляций непосредственно в стеклянной колбе ФЭУ ввиду наличия радиационного фона. На Земле существует естественный радиационный фон, преимущественно формируемый излучением рассеянными в природе радионуклидами, содержащимися в земной коре, приемном воздухе, почве, воде, растениях, в организмах животных и человека, при этом около 15% приходится на космические частицы (электроны, нейтроны, мезоны и пр.). Собственный темновой шум детектора (рис.4) составил от 20 до 55 отсчётов в секунду (200 – 550 отсчётов за 10 секунд). Мы использовали модуль счёта фотонов Hamamatsu C8855-01 для регистрации.



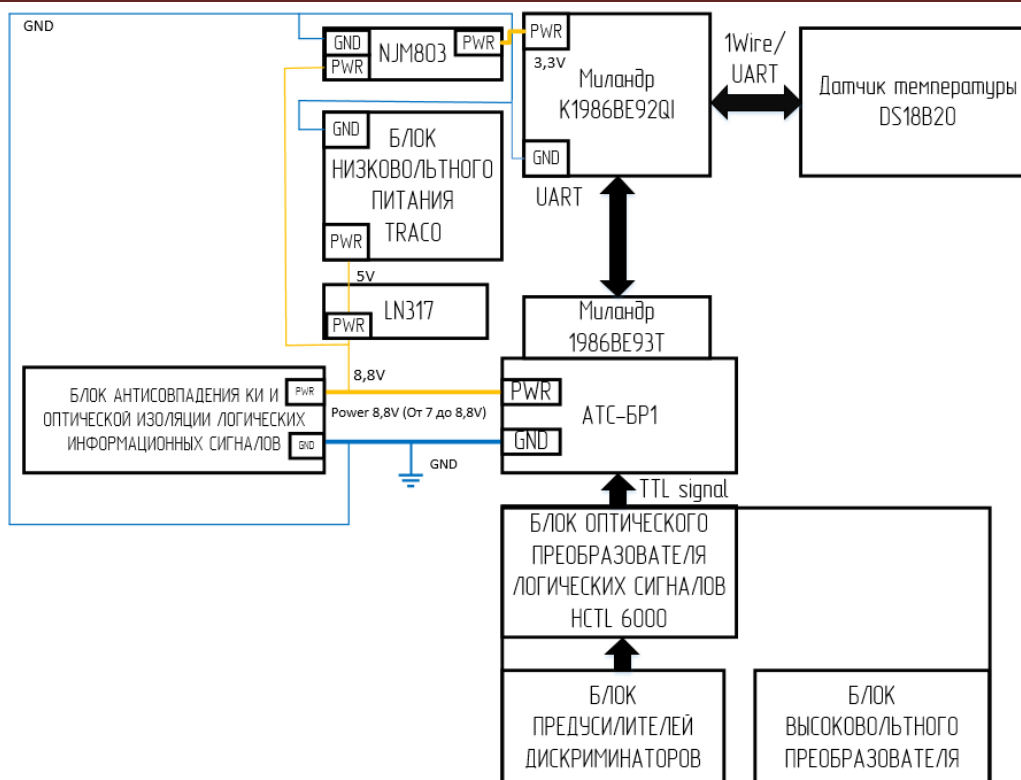


Рис.2. Структурная схема детектора

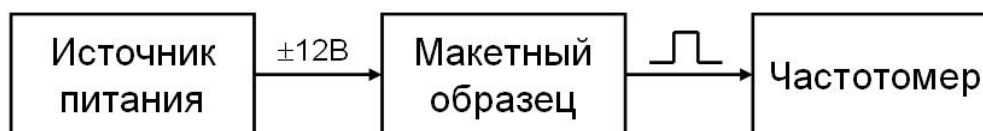


Рис.3. Схема измерительного стенда для детектора оптических фотонов.

### Результаты измерений люминесценции биокультуры

Цель эксперимента заключалась в измерении частоты следования ТТЛ импульсов на выходе детектора, находящегося в полной темноте и сравнения полученных данных с результатами измерения частоты импульсов, полученных в результате митогенетического свечения биокультуры сахаромидет. Экспериментальный стенд, включал в себя следующее оборудование: лабораторный источник питания, частотомер, осциллограф, нагревательную плиту, модуль счёта фотонов и детекторную аппаратура на основе ФЭУ.

Образец сахаромидет предварительно охладили в течении суток в холодильники до температуры  $-15^{\circ}C$  и затем производили измерения сверхслабого оптического свечения с постепенным нагревом до  $+35^{\circ}C$ . Суммарное время измерения составило 20 часов (рисунок 5).

Светимость образца сахаромидет менялась от 6000 до 2000 импульсов за 10 секунд (600-200 импульсов за 1 секунду). Таким образом, величина полезного сигнала выше в 10 раз чем величина шумовых импульсов.

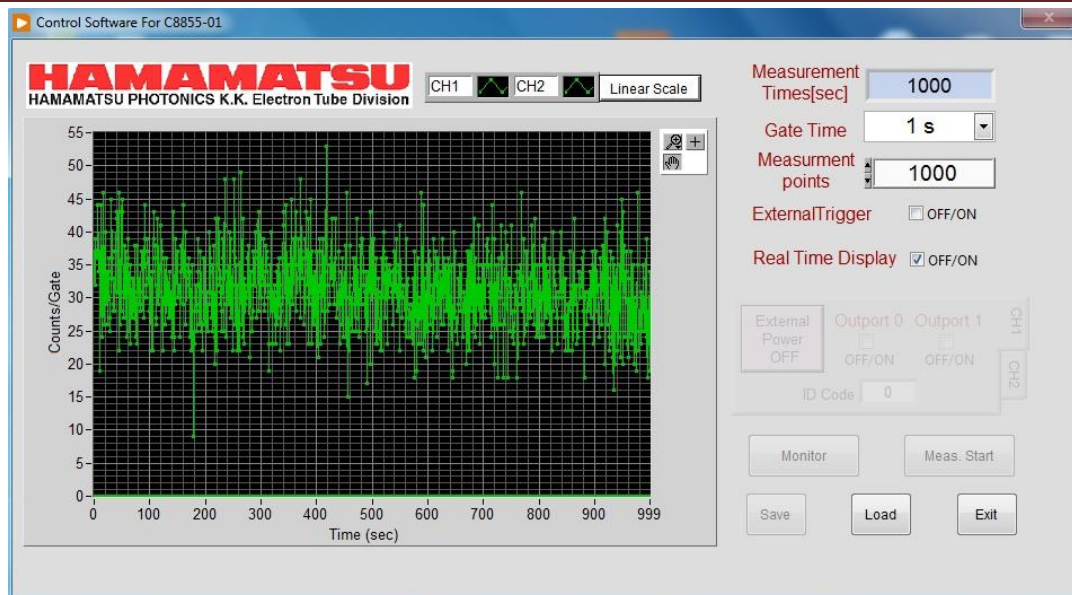
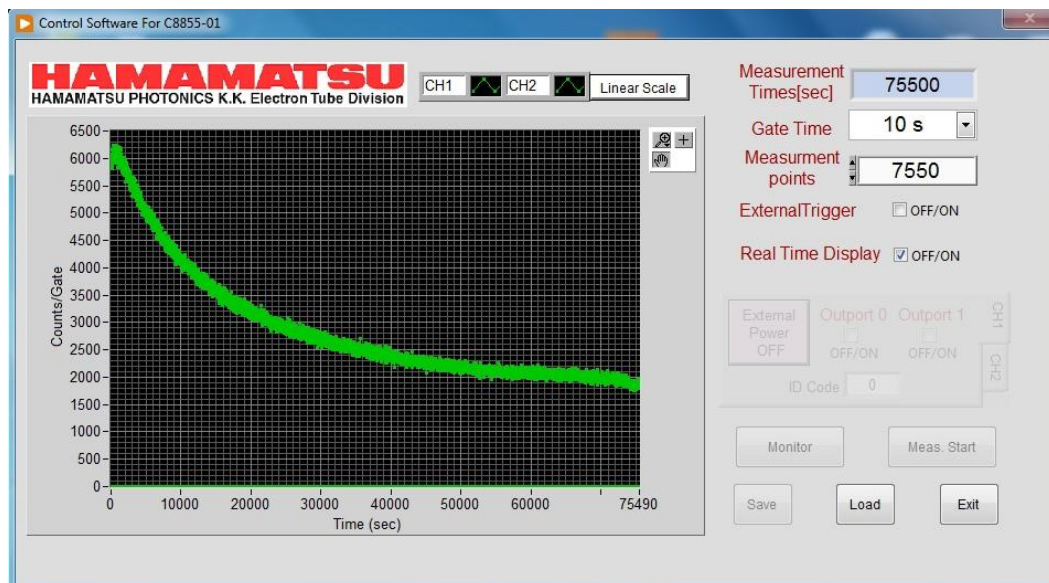


Рис.4. Темновой ток и шумовые отсчёты детектора

Рис.5. Слабое оптическое излучение от образца сахаромицет *boulardi* в течении недели

### Подсчёт импульсов с помощью электроники на основе микроконтроллера

Принцип работы встроенного программного обеспечения регистратора (рисунок б) созданного с помощью языка программирования “С” в свою очередь основан на использовании таймера. Таймер предназначен для формирования временных интервалов, позволяя микропроцессорной системе работать в режиме реального времени. Таймеры представляют собой цифровые счётчики, которые подсчитывают импульсы либо от высокостабильного генератора частоты, либо от внешнего источника сигнала, в этом случае таймер называют счётчиком внешних событий. Частота генератора задает минимальный временной промежуток, который может определять таймер. Разрядность цифрового счётчика таймера определяет максимальный интервал времени, который может задать таймер.

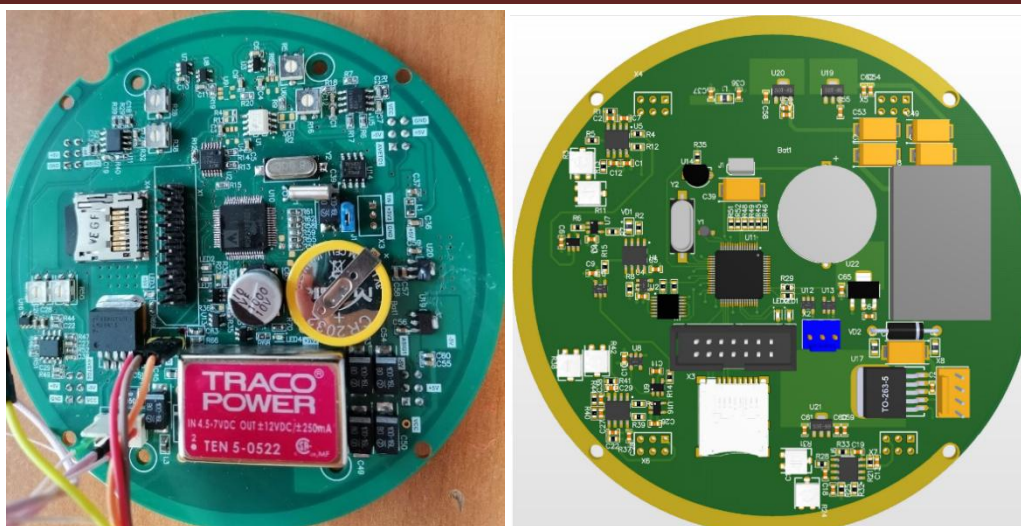


Рис.6. Модуль сбора данных на основе микроконтроллера для подсчёта интенсивности фотонного излучения

Алгоритм передачи данных (количества импульсов, времени и температуры) состоит из следующих шагов:

- 1) Управляющая программа микроконтроллера производит проверку буфера FIFO.
- 2) Происходит проверка разрешающего флага (переменной) на передачу данных.
- 3) Осуществляется отправка массива данных по UART состоящего из 10 байт.
- 4) Проверка длины сообщения и контрольной суммы.
- 5) Вывод времени, температуры и количества импульсов в программе на ПК.
- 6) Приём данных от регистратора (число зарегистрированных импульсов в канале) осуществляется через последовательный интерфейс (COM-port). Функции по работе с последовательным интерфейсом (открытие, считывание, закрытие) реализованы через инструмент VISA в среде LabVIEW (рисунок 7).
- 7) VISA является стандартным программным интерфейсом приложения (API), осуществляющего ввод/вывод для программирования контрольно-измерительного оборудования. VISA может управлять многими типами приборов (GPIB, VXI, PXI, последовательная передача) вызывая соответствующие драйверы.

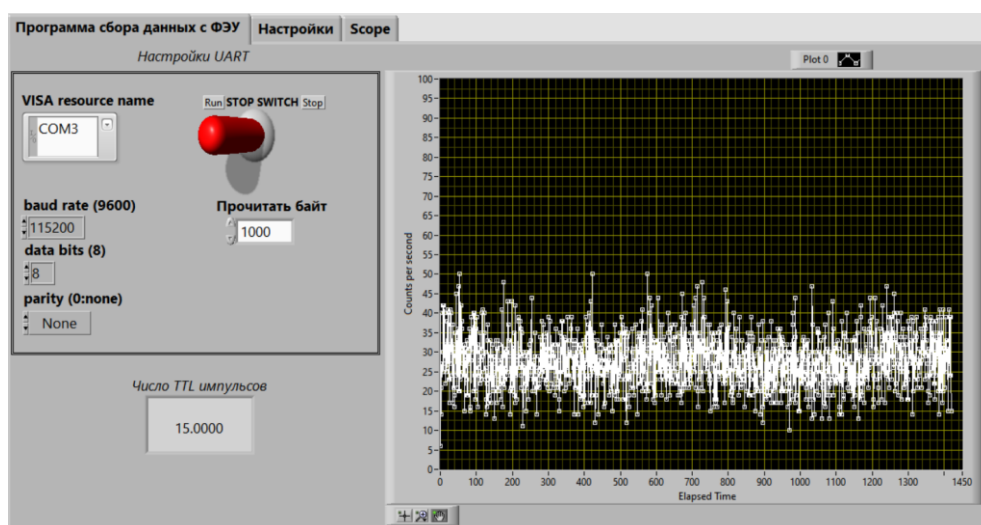


Рис.7. Программное обеспечение созданное в среде LabVIEW. Измерение собственных темновых импульсов (от 20 до 55 за сек.) одноканального детектора на основе ФЭУ



**Рис.7.** Двухканальная система детектирования одиночных фотонов с блоком сбора данных на основе ПЛИС Xilinx ZYNQ

### **Метод подсчёта интенсивности импульсов при помощи ПЛИС**

Микроконтроллер Миландр1986BE92QI, имеет ограничение по скорости обработки сигналов с частотой больше чем 10кГц. Одним из значительных преимуществ программируемых вентильных матриц (ПЛИС) по сравнению с микроконтроллерами является их способность эффективно обрабатывать сигналы с высокой частотой импульсов, превышающей 10 кГц. Это особенно важно в задачах где требуется быстрая и точная обработка входящих данных. Благодаря возможности настраивать вентильную матрицу ПЛИС в соответствии с конкретными требованиями, разработчики могут создавать специализированные цифровые схемы, которые максимально эффективно обрабатывают сигналы с высокой частотой. Это позволяет улучшить производительность и точность при обработке цифровых сигналов.



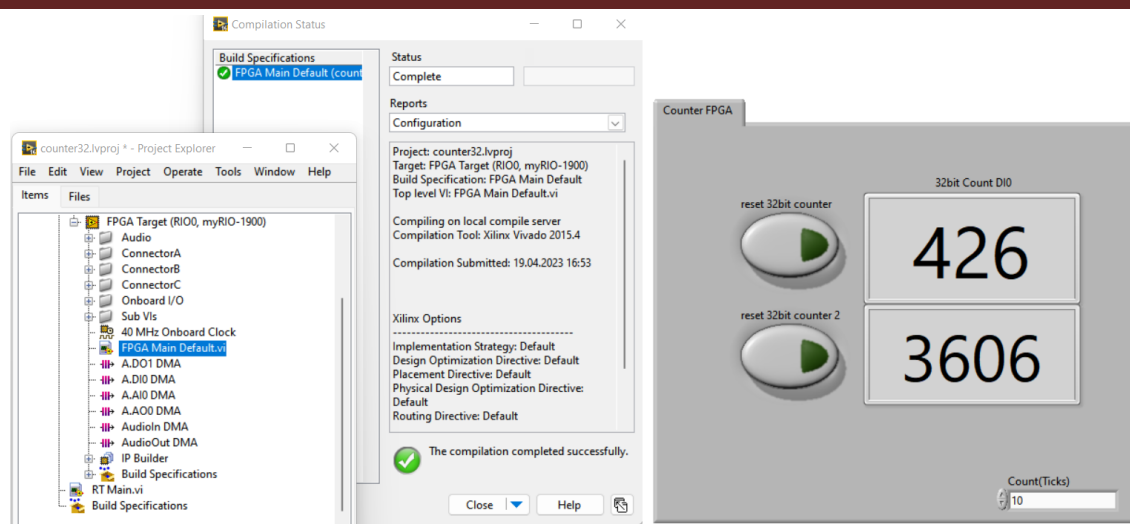


Рис.8. Процесс конфигурации ПЛИС в среде LabVIEW FPGA

Использование программируемых вентильных матриц (ПЛИС) имеет свои преимущества. ПЛИС спроектированы для обработки данных параллельно (рисунок 7), что позволяет эффективно решать задачи, требующие одновременной обработки большого объема информации и способны параллельно выполнять большое количество операций, что делает их идеальным выбором для высокопроизводительных приложений. ПЛИС работают с низкой задержкой, что делает их подходящими для приложений, где требуется быстрый отклик. ПЛИС потребляют больше энергии, чем микроконтроллеры, что может быть критичным в портативных устройствах или при работе от аккумуляторов. В свою очередь, микроконтроллеры отличаются относительной простотой программирования и более широкой доступностью инструментов разработки. Также микроконтроллеры обычно потребляют меньше энергии, что делает их подходящими для задач, где требуется малое энергопотребление.

Мы использовали систему на кристалле (SoC) от Xilinx ZYNQ в составе контроллера National Instruments My RIO для создания высокоскоростного двухканального регистратора импульсов с ФЭУ. Мы выполнили конфигурацию (рисунок 8) контроллера в среде LabVIEW FPGA и подключили к нему два детектора: Одноканальный детектор с ФЭУ Hamamatsu и модуль подсчета фотонов H7155. Таким образом мы получили решение для регистрации импульсов с частотой 100 кГц с двух (или более) каналов.

## Заключение

Нами разработан одноканальный детектор сверхслабого оптического излучения. Показано что используемый ФЭУ работает в одно фотоэлектронном режиме. Наличие электронной схемы селекции одноэлектронных импульсов позволяет различить фотоэлектронные импульсы и отделить их как от импульсов темнового тока, так и от оптических импульсов с большой амплитудой.

Созданный одноканальный детектор на основе ФЭУ предназначен для исследования дрожжей сахаромыцет, таких как *Saccharomyces boulardii*, предлагая высокую чувствительность для обнаружения и подсчета отдельных фотонов в сверхслабом оптическом излучении от образцов. Созданы две электронные системы регистрации и подсчета импульсов от детектора, включая собственное программное обеспечение для блоков регистрации импульсов.

## Благодарность.

Авторы выражают признательность за финансовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-29-10007.

## Список литературы

1. Tilbury R.N., Quickenden T.I. // Photochemistry and Photobiology 1988. Vol. 47. № 1. P.145-150.
2. Гурвич А.А. Еремеев В.Ф. Карабчиевский Ю.А. // Доклады АН СССР. 1968. Т.178. №6. с.1432-1435.
3. Дунин Н.В., Дунин В.Б., Савинов С.А. и др. // Приборы и техника эксперимента. 2023. № 1. С. 23 – 28 DOI: 10.31857/S003281622206012X.
4. Дунин Н.В., Дунин В.Б., Савинов С.А. и др. // Приборы и техника эксперимента. 2023. № 1. С. 29 - 32 DOI: 10.31857/S0032816223030205.
5. Peryt M.J., Roslon K., Dunin Nikita et al. // Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement. 2021. Vol. 14. P. 629. DOI: 10.5506/APhysPolBSupp.14.629.
6. Demikhov T., Kostrov E., Lysenko V. et al. // IEEE Trans. Appl. Superconductivity. 2012. Vol. 22. № 3. Article Number 9501004. DOI: 10.1109/TASC.2011.2178994

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И КЛИНИЧЕСКОЙ ОНКОЛОГИИ

А.Д.Янкевич<sup>1</sup>, А.Б.Бучарская<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Россия, Москва*

<sup>2</sup> *Саратовский государственный медицинский университет имени В.И.Разумовского, Россия, Саратов*

<sup>3</sup> *Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*

DOI:10.24412/el-37145-2023-1-14-17

В данном обзоре представлены экспериментальные и клинические исследования противоопухолевого действия новых технологий лучевой терапии с использованием линейных ускорителей, в том числе FLASH-радиотерапии. Этот метод представляет собой однократное кратковременное высокодозное облучение опухолей -с мощностью дозы свыше 40 Гр/с, при этом побочные эффекты на нормальные ткани менее выражены по сравнению с традиционной лучевой терапией.

### Введение

Актуальность поиска новых методов лечения в онкологии обусловлена резким ростом заболеваемости и смертности от онкозаболеваний: в 2020 г. в мире было диагностировано 19,3 млн новых случаев и около 10 млн человек умерло от онкологических заболеваний по данным Международного агентства по изучению рака (IARC)[1]. Лучевая терапия является одним из ведущих методов лечения злокачественных опухолей, основу технических средств современной лучевой терапии составляют гамма-терапевтические аппараты и линейные ускорители(LINAC) [2]. В классической лучевой терапии уменьшение побочных эффектов на нормальные ткани достигается за счет фракционирования суммарной дозы облучения при 2 Гр на фракцию и ниже[3]. Поиск новых технологий радиотерапии направлен на повышение точности подведения дозы облучения и уменьшение объема нормальных тканей, облучаемых при высоких дозах, что позволит предотвратить потенциальные побочные эффекты лучевой терапии.

### Основные положения

Работа линейного ускорителя в составе медицинского комплекса предъявляет особые требования к его надежности, безопасности и стабильности параметров пучка для облучения пациента [4]. К внешним компонентам линейного ускорителя относятся электронное портальное устройство формирования изображения, кушетка, вращающийся портал и система визуализации, состоящая из рентгеновского генератора и электронного устройства визуализации. К внутренним компонентам ускорителя относятся ускоряющий волновод, используемый для ускорения электронного пучка до высоких энергий; клистроны и магнетроны, которые производят микроволновое излучение, используемое для питания ускоряющего волновода; волновод, направляющий СВЧ-энергию от клистрона/магнетрона к ускоряющему волноводу; изгибающий магнит, используемый для

фокусировки и позиционирования пучка; циркулятор, система охлаждения; электронная пушка; селектор энергии; а также к внутренним компонентам ускорителя относится обрабатывающая головка, которая содержит элементы, необходимые для создания и формирования пучка, такие как мишени, рассеивающие пленки и оптический индикатор расстояния[5].

В базовой конструкции ускорителя нагретая нить накала срывает облако электронов, которые в дальнейшем ускоряются электрическим полем, приложенным между нитью накала (катодом) и тонким металлическим окном (анодом). Затем электроны попадают на мишень, где они создают рентгеновское излучение Бремштраунга, или на рассеивающую фольгу - для пространственного распределения электронного пучка. Наконец, пучок может быть дополнительно сформирован в обрабатывающей головке. Воздействие внешних возмущений приводит к тому, что движение пучка частиц в реальном ускорителе в большей или меньшей степени отличается от расчетного, поэтому возникает необходимость постоянного контроля и коррекции параметров пучка[6].

Линейные ускорители (LINAC) долгое время применялись для стандартной фракционированной радиотерапии, а в 1982 году было предложено их использование для стереотаксической радиохирургии [7]. LINAC используется для лечения опухолей различных участков тела с применением как традиционных методов лучевой терапии, так и лучевой терапии с модулированной интенсивностью (IMRT), объемно-модулированной дуговой терапии (VMAT), лучевой терапии с наведением изображения (IGRT), стереотаксической радиохирургии (SRS) и стереотаксической радиотерапии тела (SBRT). В настоящее время радиохирургические LINAC-системы выпускаются компаниями Brainlab (Германия), Varian (США), Accuray (США), Elekta (UK) и др. Несмотря на то, что продукция каждого производителя имеет свои собственные тонкости, все они направлены на достижение общей цели - улучшение слияния/наведения изображений, точности, времени лечения и конформности. Среди последних разработок – комбинация линейного ускорителя с МР-томографией- МР-ЛИНАК (Elekta, ViewRay), предназначенные для адаптивного подведения дозы в зависимости от изменения состояния мишени и окружающих тканей в процессе лечения.

В настоящее время активно проводятся исследования противоопухолевого действия новых технологий радиотерапии с использованием линейных ускорителей, в том числе FLASH-радиотерапии, представляющей собой однократное высокодозное облучение свыше 40 Гр/с, в 400 раз превышающее по скорости облучение при стандартных методах лучевой терапии (до  $10^{-6} - 10^{-2}$  с)[8]. Доза биологическому объекту передается за разное время в зависимости от тока заряженных частиц в ускорителе. Ток может быть импульсным или непрерывным. В современных линейных ускорителях электронов с ярким пучком он может достигать 400 мА в импульсе, на ускорителях протонов — 800 нА[8].

Одно из самых ранних наблюдений, связанных с Flash-эффектом, было сделано еще в конце 1950-х годов. Dewey D.L. и Boag J.W. (1959) сообщили о явлении, известном как эффект вспышки [9]. Авторами было установлено, что бактерии *Serratiamarcescens* при облучении сверхвысокими мощностями доз (10-20 кРад/2 мкс) мегавольтного рентгеновского излучения проявляют более низкую радиочувствительность в азотно-кислородной смеси по сравнению с облучением при обычных мощностях доз (1 кРад/мин) в 100% азоте. Таким образом, исследование показало, что облучение с ультравысокой мощностью дозы может лучше защитить бактерии по сравнению с облучением с обычной мощностью дозы.

В 2014 году Favaudon соавторами [10] сообщили, что использование FLASH-терапии для лечения опухолей легких может привести к полному уничтожению опухолей и уменьшить побочные эффекты на нормальную легочную ткань у мышей. Наблюдали до 30 % снижение фиброза легких, а также снижение частоты дерматитов и улучшение



общей выживаемости у мышей, получавших FLASH- терапию по сравнению с традиционной методикой лечения.

Недавние эксперименты на животных показали, что при FLASH-терапии опухолей резко снижаются побочные эффекты облучения на различные здоровые ткани мышей [11,12], у мини-пигов и кошек [13]. Предполагаемый эффект воздействия FLASH-терапии обусловлен различиями в биологическом ответе нормальных и опухолевых клеток, главным образом в скорости индуцированного радиацией удаления и распада свободных радикалов, что и объясняет отсутствие выраженных побочных эффектов в нормальных тканях [14].

Vozenin MC и соавторы (2019) определяли максимально переносимую дозу и безрецидивную выживаемость при одно дозой FLASH-RT с эскалацией дозы (25-41 Гр) на 6 кошках с местно распространенной плоскоклеточной карциномой носа T2/T3N0M0 [13]. При использовании выпадения шерсти и фибронекроза в качестве острой и поздней конечных точек наблюдался защитный эффект FLASH-RT ( $\geq 20\%$  разницы в дозовом эквиваленте по сравнению с традиционной лучевой терапией. У трех кошек острая токсичность отсутствовала, у трех наблюдали умеренный/слабый преходящий мукозит, и у всех животных отмечали выпадение шерсти. При медиане наблюдения 13,5 месяцев без рецидивная выживаемость через 16 месяцев составила 84%.

Первое клиническое исследование FLASH-терапии (2022) подтвердило эффекты, полученные ранее в экспериментальных исследованиях [15]. В нерандомизированном клиническом исследовании 1 фазы (FAST-01, идентификатор ClinicalTrials.gov: NCT04592887) протонную FLASH-RT применяли для паллиативного лечения болезненных метастатических опухолей костей у 10 пациентов, использовали дозу 8 Гр в одной фракции при мощности дозы 51-61 Гр/сек. Эффективность обезболивания и количество нежелательных явлений были "сопоставимы" со стандартной лучевой терапией. В 67% случаев пациенты отмечали облегчение боли, полное отсутствие боли после лечения наблюдалось в 50% случаев. Нежелательные явления при FLASH-терапии были слабо выражены, и включали отек, эритему и чувство усталости у 1 пациента (10%), кожный зуд у 2 пациентов (20%), изменение цвета кожи или гиперпигментацию у 5 пациентов (50%).

Однако для успешного клинического применения FLASH-терапии необходимо преодолеть ряд технических проблем, в том числе обеспечить увеличение силы тока с нынешнего клинического диапазона 1-10 нА до более чем 100 нА, а также повышение скорости и точности соответствующей дозиметрии. Для решения данных проблем могут применяться дозовые детекторы, способные измерять флюенс пучка в опухоли в режиме реального времени; метод активного сканирования карандашным пучком, а также проведение детального моделирования методом Монте-Карло и математического моделирования поведения детектора [16]. Для оценки эффективности и безопасности предлагаемых технологий FLASH-терапии необходимы дополнительные доклинические исследования.

## Заключение

В настоящее время активно проводится поиск новых технологий радиотерапии с использованием линейных ускорителей, в том числе на основе высокодозной FLASH-терапии. Экспериментальные исследования показали, что FLASH-терапия оказывает выраженное противоопухолевое действие и вызывает незначительные побочные эффекты в нормальных тканях. Для клинического применения FLASH-терапии необходимо решение ряда проблем, в том числе увеличение силы тока и мощности дозы и создания точной системы дозиметрии для пучков высокой мощности дозы.

## Список литературы

1. <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/39-All-cancers-fact-sheet.pdf>

2. Бойко А.В. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2006. Т. 51, № 1. С. 46-53.
3. Bourhis J, Montay-Gruel P, Gonçalves Jorge P. et al. // Radiother Oncol. 2019. Vol. 139. P.11-17.
4. Беляев О.К., Буданов Ю.А., Звонарев И.А. и др. Линейный ускоритель-инжектор Центра протонно-лучевой терапии // Препринт ИФВЭ 2008–6. Протвино. 2008. 19 с.
5. <https://oncologymedicalphysics.com/introduction-to-clinical-linear-accelerators/>
6. Смалюк В.В. Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях / Под ред. чл.-корр. РАН Н. С. Диканского. Новосибирск: Параллель. 2009. 294 с.
7. Betti O.O., Derechinsky V.E. // Acta Neurochir Suppl (Wein) 1984. Vol. 33. P.385-90.
8. Lykova E.N., Chernyaev A.P., Korotkikh S.K. // Moscow University Physics Bulletin. 2022.Vol.77.№. 1. P.1–10.
9. Dewey D.L., Boag J.W. // Nature. 1959. Vol. 183(4673). P.1450.
10. Favaudon V., Caplier L., Monceau V. et al. // Sci. Trans. Med. 2014. Vol. 6(245). P.245.
11. Loo B.W., Schuler E., Lartey F.M. et al. // Int. J. Radiat. Oncol. 2017. Vol. 98. P.E16.
12. Pierre M.G., Audrey B., Maud J. et al. // Radiother. Oncol. 2018. Vol. 129. № 3. Artc. № S0167814018334546.
13. Vozenin M.C., De Fornel P., Petersson K. et al. // Clin. Cancer. Res. 2019. Vol. 25. № 1. P. 35–42.
14. Lin B., Huang D., Gao F. et al. // Front Oncol. 2022. Sep 23;12:995612.
15. Daugherty E.C., Mascia A., Zhang Y. et al. // JMIR Res Protoc. 2023. Jan 5;12:e41812.
16. Chow J.C.L., Ruda H.E. // Encyclopedia 2023. Vol. 3. P. 808-823.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРОВООБРАЩЕНИЯ УКАЗАТЕЛЬНОГО ПАЛЬЦА КИСТИ И ВТОРОГО ПАЛЬЦА СТОПЫ У ЛИЦ СРЕДНЕГО ВОЗРАСТА В ДИНАМИКЕ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЫ С НИТРОГЛИЦЕРИНОМ

И.Б. Исупов<sup>1</sup>, Р.Ш. Затрудина<sup>2</sup>, Р.А. Кудрин<sup>1</sup>, В.Ю. Грибков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный медицинский университет, Россия, Волгоград

<sup>2</sup>Волгоградский государственный университет, Россия, Волгоград

DOI:10.24412/el-37145-2023-1-17-26

Методом фотоплетизмографии (ФПГ) исследовано кровообращение указательного пальца кисти и второго пальца стопы у лиц среднего возраста. Регистрация фотоплетизмограмм проведена под контролем частоты дыхания методом экспираторной спирографии. Оценка тонуса артерий малого диаметра выполнена до приема 0,5 мг нитроглицерина сублингвально и в течение 60 минут после приема препарата. До приема препарата тонус артерий сопротивления указательного пальца кисти достоверно выше тонуса артерий второго пальца стопы. Вариационный размах фотоплетизмографического показателя тонуса артерий сопротивления и мощность респираторной гармоники в спектре данного показателя в сосудистом регионе кисти ниже, чем в регионе стопы. Прием препарата способствует выраженному снижению тонуса артерий обоих сосудистых регионов. В регионе кисти вариационный размах величин и мощность дыхательной гармоники параметра тонуса артерий сопротивления на фоне приема препарата возрастают, а в регионе стопы, напротив, данные показатели снижаются. Нитроглицерин оказывает модулирующее действие на нейрогенные механизмы регуляции регионарного кровообращения, способствуя не только снижению тонуса артерий малого диаметра указательного пальца кисти, но и усилению опосредованных парасимпатических влияний на регуляцию кровообращения верхних конечностей. В сосудистом регионе стопы препарат вызывает атонию артерий сопротивления, что приводит к снижению эффективности вегетативной регуляции их тонуса. Описанные феномены следует учитывать при назначении нитратов короткого времени действия с лечебными целями лицам среднего возраста.

### Введение

Фармакологическая проба с нитроглицерином широко используется в функциональной диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы человека [1-4].

Основной аспект применения нитроглицеринового лекарственного теста — дифференциальная диагностика функциональных и морфологических (структурных) изменений эластичности и тонуса стенок кровеносных сосудов различного диаметра. Нитроглицерин является эффективным препаратом, преимущественно снижающим тонус венозных сосудов [4,5]. Уменьшение тонуса вен обуславливает увеличение их ёмкости и, следовательно, снижает возврат крови к сердцу — снижает пред нагрузку на миокард, что способствует уменьшению сердечного выброса и минимизирует энергозатраты миокарда желудочков на реализацию насосной функции сердца [5].

Наряду с выраженным венодилатирующим эффектом, препарат существенно снижает тонус регионарных мелких артерий и артериол, являясь неселективным вазодилататором. Расширение периферических артерий способствует, с одной стороны, улучшению коронарного кровотока, а с другой стороны, обеспечивает снижение постнагрузки на миокард левого желудочка, что также способствует повышению экономичности деятельности сердца [3,4]. В последние десятилетия доказано существование центральных симпатолитических эффектов нитроглицерина, что способствует купированию сосудистого компонента болевого синдрома на фоне приступа стенокардии[4].

Быстрота фармакодинамического эффекта нитроглицерина (максимум его действия на периферический кровоток отмечается ко 2-й–5-й минутам после сублингвального приема) обуславливает его широкое применение в функциональной диагностике в кардиологии и в физиологических исследованиях, в частности, в спортивной медицине[5].

В настоящее время известны результаты большого числа сравнительных исследований кровенаполнения и тонуса артерий различного диаметра региона верхних конечностей (указательный палец кисти) и региона нижних конечностей (второй палец стопы). Как правило, данные исследования выполнены с применением различных модификаций метода фотоплетизмографии (ФПГ) [6-8]. Авторы упомянутых исследований констатируют факт, что у лиц молодого и среднего возраста тонус резистивных артерий верхних конечностей выше, чем тонус функционально аналогичных сосудов стоп. По индексу дикротической волны ФПГ различия тонуса артерий кисти и стоп достигают 2,0-2,5 раз. К пожилому и старческому возрасту различия тонуса артерий обоих регионов становятся менее существенными[8,9].

Сравнительные фотоплетизмографические исследования кровообращения верхних и нижних конечностей все шире входят в реестр методов первичной функциональной диагностики микро- и макроангиопатий, возникающих на фоне развития сахарного диабета второго типа у людей среднего и пожилого возраста. В последнее десятилетие исследователи успешно применяют оценку динамики индекса аугментации фотоплетизмограмм по мере прогрессирования диабетических ангиопатий у пациентов, имеющих возраст более 40 лет. Всё шире специалисты в области функциональной диагностики вводят в научно-практическую литературу такое качественно-количественное понятие, как «асимметрия микроциркуляции кисть-стопа»[6].

Следует указать, что для оценки возможности нормализации сосудистого тонуса, отслеживаемой по динамике индекса аугментации у пациентов с сахарным диабетом, исследователи применяют фармакологический тест с нитроглицерином, позволяющий дифференцировать функциональные и морфологические изменения эласто-тонических характеристик сосудистой стенки[10,11].

Однако в данных исследованиях не освещены вопросы о том, насколько вариабелен сосудистый тонус региона кисти и стопы у обследованных лиц до приема нитроглицерина? Остаётся открытым вопрос о том, насколько вариабельность сосудистого тонуса регионов кисти и стопы может быть обусловлена нейрогенными (симпатическими, парасимпатическими) влияниями на периферический кровоток? Как указанные нейрогенные влияния изменяются на фоне приема нитратов короткого времени действия?

Не исследован до конца весьма значимый для врачей-клиницистов вопрос о том, насколько вазодилатирующее действие нитроглицерина может быть различным в зависимости от исходного уровня тонуса резистивных сосудов: высокого, нормального, низкого. Неясно, насколько различно действие препарата на кровообращение пальцев верхних и нижних конечностей, с учётом того, что у одного и того же обследуемого тонус артерий малого диаметра и артериол верхних конечностей, как правило, существенно выше тонуса аналогичных сосудов региона стопы.

Всё перечисленное усложняет интерпретацию информации, полученной врачом-диагностом, и не позволяет предвидеть индивидуальные перераспределительные гемодинамические реакции между различными сосудистыми бассейнами. Это чревато усугублением негативных побочных эффектов нитроглицерина, особенно у лиц молодого и среднего возраста: возникновением головокружения, спутанности сознания и ортостатического коллапса при перемене положения тела в пространстве.

Ответы на поставленные выше вопросы можно получить путем сравнительного анализа вариационно-статистических и спектральных характеристик фотоплетизмографических показателей тонуса артерий сопротивления указательного пальца кисти и второго пальца стопы практически здоровых лиц среднего возраста в 60-минутной динамике фармакологической пробы с нитроглицерином.

### Материалы и методы

Фотоплетизмографическое исследование выполнено у 5 практически здоровых лиц среднего возраста ( $57,5 \pm 1,2$  лет) мужского пола. Положение обследуемых: сидя в свободной позе. Обследованы сосудистые регионы кисти (дистальная фаланга указательного пальца) и стопы (дистальная фаланга второго пальца). Длительность непрерывной регистрации фотоплетизмограмм составила 5 минут. Для контроля частоты дыхания обследуемых фотоплетизмография обеих сосудистых областей проводилась синхронно с экспираторной спирографией [12].

Фотоплетизмограммы регистрировали до приема 0,5 мг препарата «Нитрокор» (исходное состояние - контроль), а также на 2-й–7-й, 9-й–14-й, 15-й–20-й, 22-й–27-й, 30-й–35-й, 40-й–45-й, 50-й–55-й и 57-й–62-й минутах после его сублингвального приема.

Для каждого пульсового цикла фотоплетизмограмм рассчитывали показатель, характеризующий тонус мелких резистивных артерий и артериол – индекс дикротической волны (ИДВ ФПГ, %).

Математическая обработка полученных результатов включала в себя:

1. Вариационно-статистический анализ: вычисление модальных ( $M_0$ ), средних значений и вариационного размаха ( $\Delta$ ) ИДВ ФПГ.
2. Спектральный анализ показателя ИДВ ФПГ: определение мощности респираторной гармоник, относительной мощности высокочастотного и низкочастотного диапазонов спектра.

### Результаты исследований

На рис. 1 представлены средние значения ИДВ ФПГ указательного пальца и второго пальца стопы до и в течение часа после приема нитроглицерина. Обозначения на графике интервалов времени, на которых вычислялись эти средние значения, соответствуют таблице 1.

Вазодилатирующие эффекты нитроглицерина существенны в регионах кисти и стопы независимо от исходного тонуса резистивных артерий. Максимальная дилатация резистивных артерий после приема нитроглицерина наблюдается ко 2-й–7-й минутам для указательного пальца кисти и к 9-й–14-й минутам для второго пальца стопы. Медикаментозное снижение тонуса артерий второго пальца стопы более значительно, чем снижение тонуса пальца кисти. На фоне приема нитроглицерина возникает выраженная гипотония (ИДВ < 30 %) и атония (ИДВ < 10%) резистивных сосудов стопы. После 10-й–14-й минут теста тонус артерий малого диаметра обоих регионов начинает повышаться и постепенно восстанавливается к концу первого часа после приема нитроглицерина.

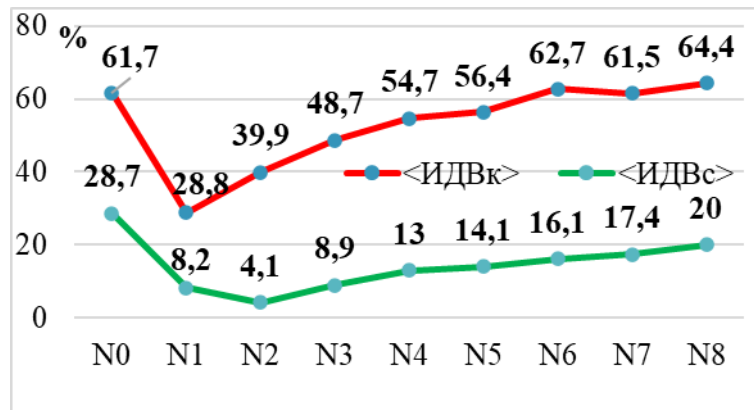
Для сравнительной оценки динамики тонуса резистивных артерий верхних и нижних конечностей во время фармакологического теста, введен коэффициент соответствия тонуса артерий кисти и стопы  $k$ :

$$k = \frac{\langle ИДВ_k \rangle}{\langle ИДВ_c \rangle} \quad (1)$$

как отношение среднего значения  $\langle ИДВ_k \rangle$  ФПГ указательного пальца кисти к аналогичному показателю ФПГ второго пальца стопы  $\langle ИДВ_c \rangle$ .

Таблица 1.

Обозначение	N0	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Время регистрации ФПГ	До приема нитроглицерина	2–7 мин после приема	9–14 мин после приема	15–20 мин после приема	22–27 мин после приема	30–35 мин после приема	40–45 мин после приема	50–55 мин после приема	57–62 мин после приема



**Рис. 1.** Средние значения ИДВ ФПГ указательного пальца кисти (красная линия) и ИДВ ФПГ второго пальца стопы (зеленая линия) в динамике теста с нитроглицерином

Данный коэффициент равен 2,0–2,5 до приема нитроглицерина. Он существенно возрастает на 2-й–7-й минутах после приема препарата и постепенно снижается до исходного уровня к 30-й–35-й минутам после приема (рис.2). Совместный анализ рис.1 и рис.2 показывает, что увеличение коэффициента  $k$  на фоне приема нитроглицерина обусловлено преимущественно тем, что понижение тонуса артерий стопы выражено существенно сильнее снижения тонуса артерий кисти.

Вариационный размах ( $\Delta$ ) ИДВ ФПГ указательного пальца кисти до приема нитроглицерина незначителен (рис.3а); на 2-й–7-й минутах после приема нитроглицерина изначально повышенный тонус артерий снижается, эластичность стенок сосудов возрастает: вариационный размах величин ИДВ значительно увеличивается (рис.3б); к концу первого часа после приема нитроглицерина тонус артерий возрастает, и вариационный размах ИДВ ФПГ приближается к исходным величинам, оставаясь незначительно повышенным по сравнению с исходным уровнем (рис.3в).

Вариационный размах  $\Delta$  ИДВ ФПГ второго пальца стопы до приема нитроглицерина незначителен (рис.3г); однако, несмотря на снижение тонуса артерий на 2-й–7-й минутах после приема препарата, вариационный размах ИДВ не увеличивается (рис.3д) — тонус сосудов стопы низок, соответственно, эластичность стенок артерий стопы до и после приема препарата одинаково высока; к концу первого часа после приема



нитроглицерина вариационный размах ИДВ ФПГ стопы заметно повышается по сравнению с исходными величинами (рис.3е).

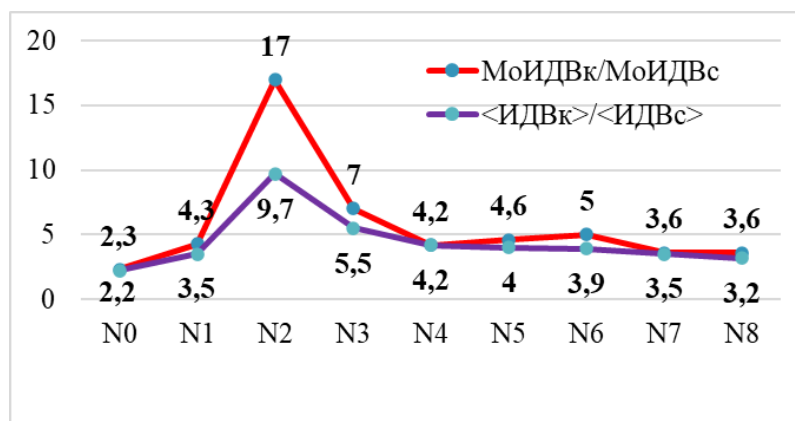


Рис. 2. Изменение коэффициента соответствия тона артерий кисти и стопы в динамике теста с нитроглицерином.

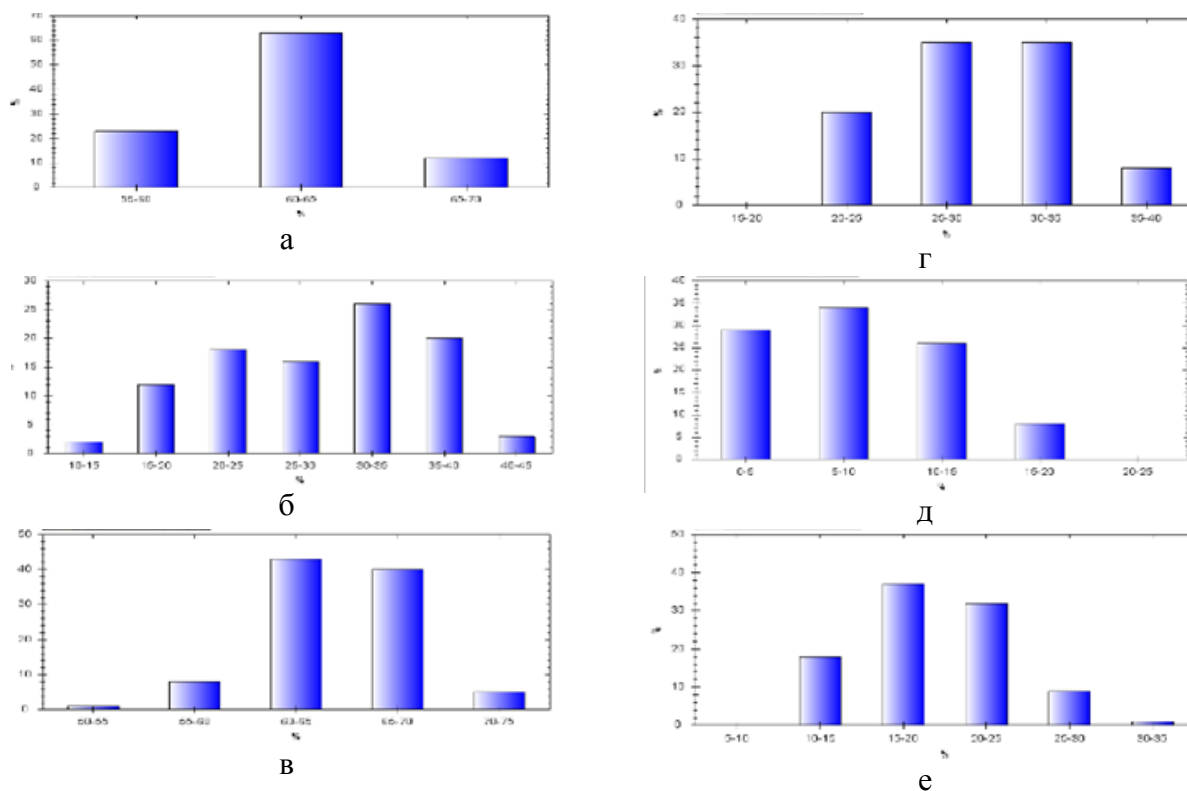
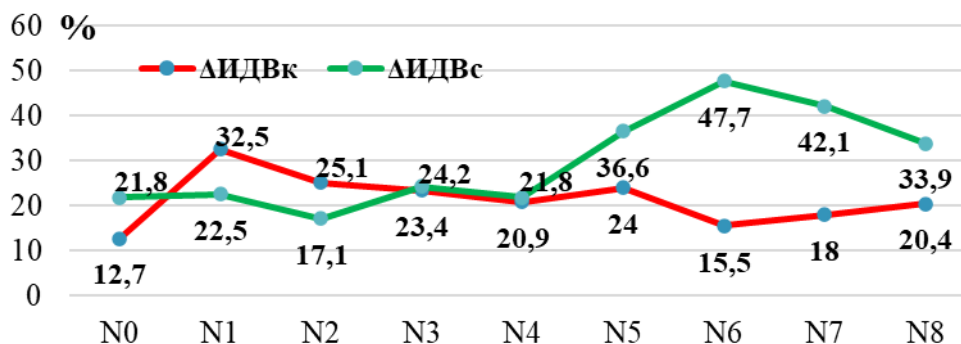


Рис.3. Распределение ИДВ ФПГ: а, б, в – указательного пальца кисти, г, д, е – второго пальца стопы

Динамика вариационного размаха  $\Delta$ ИДВ ФПГ указательного пальца кисти и ИДВ ФПГ второго пальца стопы до и в течении 60 мин после приема нитроглицерина представлена на рис.4. Вариационный размах  $\Delta$ ИДВк ФПГ указательного пальца в исходном состоянии незначителен (не более 12-15%). Он существенно возрастает (до 30–35%) на 2-й–7-й минутах после приема нитроглицерина и постепенно возвращается к исходному уровню к 30-й–35-й минутам после приема препарата. Увеличение вариационного размаха ИДВ ФПГ указательного пальца обусловлено повышением эластичности стенок резистивных артерий кисти на фоне приема нитроглицерина.

Вариационный размах ИДВ ФПГ второго пальца стопы в исходном состоянии незначительно выше аналогичного параметра ИДВ ФПГ указательного пальца (рис. 4).

Динамика размаха ИДВ ФПГ второго пальца стопы, наблюдаемая в течение первых 30 минут после приема нитроглицерина, незначительна. После 30-й минуты теста вариационный размах величин ИДВ ФПГ пальца стопы заметно возрастает. По-видимому, это обусловлено восстановлением нормального тонуса мелких сосудов стопы после предшествующей медикаментозной атонии и, соответственно, значительным повышением чувствительности резистивных артерий стопы к опосредованным парасимпатическим регуляторным влияниям.



**Рис. 4.** Вариационный размах ΔИДВ ФПГ указательного пальца кисти (красная линия) и ИДВ ФПГ второго пальца стопы (зеленая линия) до и в течение 60 мин после приема нитроглицерина

Известно, что вариационный размах ИДВ ФПГ пропорционален эффективности действий самых различных (миогенных, нейрогенных, метаболических) факторов, влияющих на тонус сосудов, поэтому не позволяет определить, какие регуляторные механизмы участвуют в изменении тонуса артерий кисти и стопы. Влияние парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы на изменение тонуса артерий позволяет оценить анализ периодичности изменений ИДВ ФПГ обоих регионов.

Были рассчитаны спектры ИДВ для последовательных 5-ти минутных отрезков ФПГ указательного пальца кисти и второго пальца стопы до и в течение часа после приема нитроглицерина. Некоторые из этих спектров представлены на рис.5.

Сравнение спектров ИДВ ФПГ с соответствующими спектрами спирограмм позволяет утверждать, что на всех спектрах максимальную мощность имеют высокочастотные (0,4 – 0,15 Гц) дыхательные гармоники.

В исходном состоянии мощность основной респираторной гармоники (0,15 Гц) в спектре ИДВ ФПГ указательного пальца кисти незначительна (рис.5а). Ее мощность существенно возрастает ко 2-й–7-й минутам после приема нитроглицерина (рис.5б) и постепенно снижается к 30-й–35-й минутам после приема нитроглицерина (рис.5в).

В спектре ИДВ второго пальца стопы мощность респираторной гармоники в исходном (рис.5г) состоянии существенно выше, чем в спектре ИДВ ФПГ пальца кисти (рис.5а). Прием препарата обуславливает снижение мощности данной гармоники ко 2-ой–7-ой минутам фармакологического теста (рис.5д) и постепенное возвращение её величин к исходному уровню на 30-й–35-й минутах после приема препарата (рис.5е).

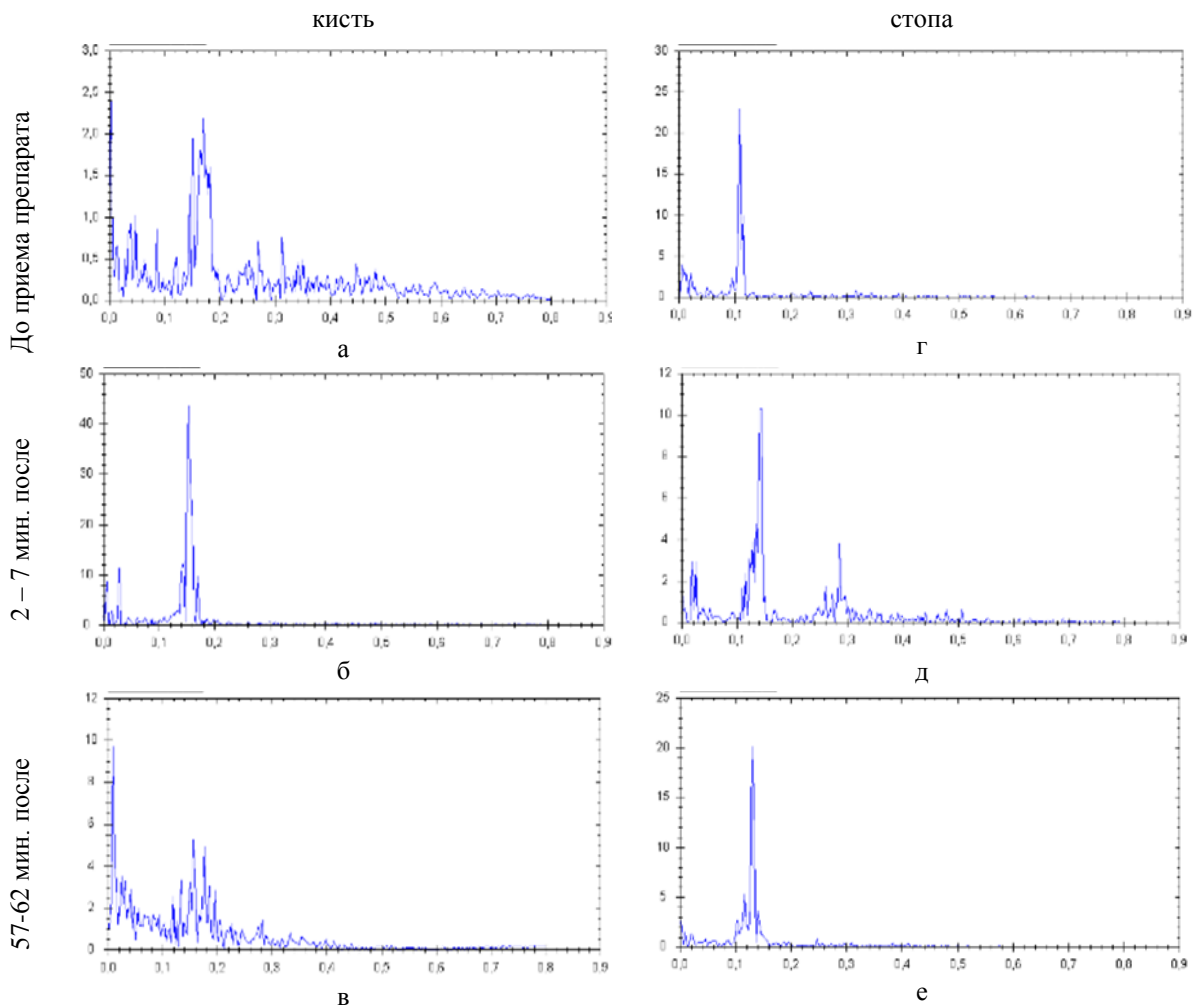
На рисунке 6 представлена динамика изменения мощности основной (максимальной) дыхательной гармоники.

В исходном состоянии мощность основной дыхательной гармоники (0,15 Гц) в спектре ИДВ ФПГ указательного пальца невелика (рис.6). Ее величина существенно увеличивается к 2-й–7-й минутам и постепенно снижается к 30-й–35-й минутам после приема нитроглицерина. В спектре ИДВ ФПГ второго пальца стопы мощность дыхательной гармоники в исходном состоянии значительно выше, чем в спектре ИДВ



ФПГ пальца стопы. Прием препарата вызывает уменьшение мощности этой гармонике к 2-й–7-й минутам фармакологической пробы. Постепенное возвращение ее значений к исходному уровню наблюдается через 30–35 минут после приема препарата.

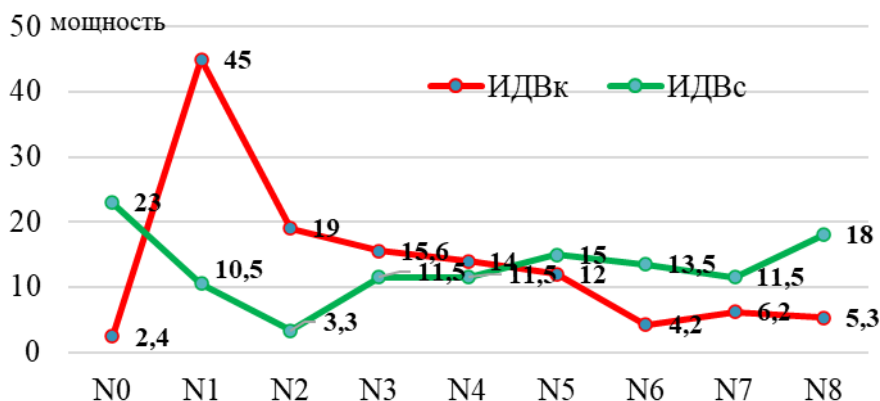
До приема нитроглицерина тонус артерий кисти обследуемых был повышен, что свидетельствовало о вегетативном дисбалансе — преобладании симпатических влияний на кровотоки верхних конечностей. Значительное возрастание мощности респираторной гармонике ИДВ ФПГ региона верхних конечностей на фоне приема препарата происходит вследствие медикаментозной нормализации тонуса резистивных артерий указательного пальца кисти и свидетельствует о повышении парасимпатических влияний на тонус сосудов верхних конечностей, опосредованных венозно-артериальными механизмами регуляции регионарного кровотока.



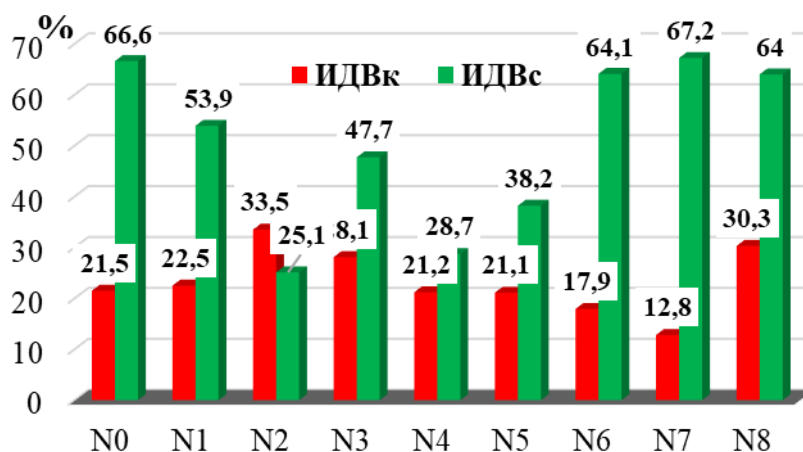
**Рис. 5.** Спектры ИДВ ФПГ: а, б, в – кисти; г, д, е – стопы; а, г – до приема препарата; б, д – 2-я–7-я минуты после приема препарата; в, е – 57–62 минуты после приема препарата

До приема нитроглицерина тонус резистивных артерий региона стопы снижен по сравнению с регионом кисти. Соответственно, мощность респираторной гармонике в спектре ИДВ ФПГ второго пальца стопы в исходном состоянии существенно выше, чем в спектре ИДВ ФПГ пальца кисти (рис.6). Прием препарата приводит к снижению мощности данной гармонике в спектре ИДВ пальца стопы к 9-й–14-й минутам фармакологического теста и постепенное возвращение её величин к исходному уровню на 30-й–35-й минутах после приема. Снижение мощности дыхательной гармонике ИДВ ФПГ пальца стопы обусловлено тем, что при выраженной медикаментозной гипотонии и

атонии сосудов нижних конечностей, влияние вегетативных, преимущественно парасимпатических, механизмов регуляции на тонус резистивных артерий данного региона ослабевает.



**Рис. 6.** Мощность респираторной гармоники в спектре ИДВ ФПГ указательного пальца кисти (красная линия) и второго пальца стопы (зеленая линия) в динамике теста с нитроглицерином



**Рис.7.** Относительная мощность низкочастотного спектра LF в спектре ИДВ ФПГ указательного пальца кисти и второго пальца стопы в динамике теста с нитроглицерином

Традиционно считается, что симпатические влияния на сердечно-сосудистую систему проявляются низкочастотными (0,15 – 0,04 Гц) колебаниями тонуса артерий. Эти низкочастотные колебания тонуса могут быть исследованы путем анализа относительной мощности низкочастотного спектра LF[13]ИДВ фотоплетизмограмм. Относительная мощность низкочастотного спектра LF в спектрах тонуса резистивных сосудов указательного пальца кисти и второго пальца стопы в динамике теста с нитроглицерином представлена на рис.7. В исходном состоянии относительная мощность спектра LF в низкочастотном диапазоне спектра ИДВ ФПГ пальца стопы существенно выше, чем в спектре ИДВ ФПГ указательного пальца кисти. Однако, после приема препарата она существенно снижается на 9-й–14-й минутах, и возрастает к 30-й–35-й минутам, в то время как относительная мощность спектра LF ИДВ ФПГ пальца кисти в динамике фармакологического теста изменяется менее существенно: имеет тенденцию к возрастанию на 2-й–7-й минутах после приема препарата и, затем, постепенно снижается.

Анализ направленности изменений относительной мощности спектра LF ИДВ ФПГ в динамике теста с нитроглицерином показывает, что она имеет сходство с

направленностью изменений респираторной (парасимпатической) гармоникой. По-видимому, это обусловлено тем, что частота дыхания обследуемых во время теста с нитроглицерином была в диапазоне 0,12 – 0,16 Гц— на границе с диапазоном LF (0,15 – 0,4 Гц). Этот факт был подтвержден анализом результатов спирографии. Следовательно, в данном случае, при редком дыхании, низкочастотный спектр отражает преимущественно парасимпатические влияния на регионарный сосудистый тонус.

### **Обсуждение результатов**

В исходном состоянии пульсовое кровенаполнение региона указательного пальца кисти достоверно выше, чем второго пальца стопы. Тонус мелких артерий и артериол указательного пальца, до приема препарата, также достоверно выше, чем тонус мелких артерий пальца стопы. При этом доминирующей гармоникой в спектре тонуса мелких артерий обоих регионов является дыхательная (респираторная) гармоника.

Максимум фармакодинамического эффекта препарата наблюдался на 2-й–7-й минутах после его приема и проявлялся выраженным снижением тонуса преимущественно малых артерий и артериол обеих сосудистых областей. В сосудистом регионе указательного пальца кисти мощность дыхательной гармоникой в спектре тонуса мелких артерий достоверно возрастала (по сравнению с исходным уровнем) на 2-й–7-й минутах нитроглицериновой пробы и постепенно снижалась к 15-й–20-й минутам теста. В сосудистом регионе второго пальца стопы на фоне приема препарата мощность дыхательной гармоникой, напротив, достоверно снижалась по сравнению с исходным уровнем, постепенно повышаясь к 15-й–20-й минутам фармакологической пробы.

Таким образом, исходная величина тонуса мелких артерий является фактором, влияющим на формирование его дыхательной периодичности в динамике последующей фармакологической пробы:

- если исходный тонус резистивных артерий высок, то дыхательная гармоника имеет низкую мощность. Прием препарата, вызывая выраженную вазодилатацию, способствует повышению мощности дыхательной гармоникой. Это характерно для региона кисти.

- если исходный тонус низок, то дыхательная гармоника имеет большую мощность. Прием препарата, также обуславливая выраженную вазодилатацию вплоть до гипотонии резистивных артерий, способствует снижению мощности дыхательной гармоникой в спектре тонуса резистивных артерий. Это характерно для региона стопы.

Исходя из результатов спектрального анализа параметров ФПГ, характеризующих тонус артерий сопротивления, можно сделать вывод, что нитроглицерин способствует снижению эффективности местных, миогенных механизмов регуляции кровообращения преимущественно в условиях исходной гипотонии сосудистой стенки.

По-видимому, это обусловлено тем, что во время действия нитроглицерина, вследствие выраженной медикаментозной релаксации гладкомышечных элементов стенки резистивных сосудов, имеющих исходно низкий тонус, эффективность опосредованного венозно-артериального влияния присасывающего действия грудной полости во время дыхательного цикла на артериальный кровоток ослабевает или исключается.

### **Заключение**

В исходном состоянии, до приема нитроглицерина, регион кисти и регион стопы у людей среднего возраста существенно различаются уровнем тонуса резистивных сосудов. Вариабельность сосудистого тонуса региона кисти у обследованных лиц среднего возраста в условиях покоя до приема нитроглицерина ниже, чем вариабельность сосудистого тонуса региона стопы.

Низкая вариабельность тонуса резистивных артерий кисти обусловлена преобладанием симпатических влияний на регионарный кровоток. Доказательством данного утверждения является выраженное снижение тонуса малых артерий и артериол

кисти в течение первых двух-семи минут после приема нитроглицерина, что позволяет исключить морфологические причины высокого исходного тонуса сосудов кисти. В регионе стопы на тонус резистивных артерий преобладают парасимпатические влияния, вследствие чего вариабельность данного гемодинамического параметра выше.

Нитроглицерин вызывает симпатолитический эффект по отношению к региону кисти, в соответствии с чем роль парасимпатических механизмов для регуляции тонуса резистивных артерий данного региона возрастает.

#### Список литературы

1. Гайдаш С.Г. // Казанский медицинский журнал. 1972 Т. 53. № 1. С. 13-15.
2. Струтынский А.В., Глазунов А.Б., Рейснер А.А. и др. // Кардиология. 2000. № 6. С. 30-34.
3. Фомина И.Г., Сеницына М.Г., Гайдамакина Н.Е. и др. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2003. №2. С. 58-62.
4. Фомина И.Г., Галанина Н.А., Георгадзе З.О. и др. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2005. № 4(6). Ч. II. С. 44 – 52.
5. Метелица В.И. Справочник по клинической фармакологии сердечно-сосудистых лекарственных средств / Москва: «Медпрактика». 1996. 297 с.
6. Воробьев Л.В. // Международный эндокринологический журнал. 2017. № 13(3). С. 208-214.
7. Cruickshank K., Riste L., Anderson S.G. et al. // Circulation. 2002. Vol. 106. P. 85-90.
8. Nakamura H, Tagawa M. // Annul Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2019 Jul; 2019: 1-4. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857319. PMID: 31945831. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31945831/>
9. Исупов И.Б., Затрудина Р.Ш., Грибков В.Ю. Сравнительный анализ фотоплетизмограмм указательного пальца руки и второго пальца стопы практически здорового человека среднего возраста / Проблемы оптической физики и биофотоники. Сборник трудов конференции: “SaratovFallMeeting-22” Саратов. – 2022. – С. 5-14.
10. Elgendy M. // Current Cardiology Reviews. 2012. Vol. 8 (1). P.14-25.
11. Dremin V., Zherebtsov E., Bykov A. et al. // Appl. Opt. 2019. Dec 1;58(34):9398-9405. DOI: 10.1364/AO.58.009398. PMID: 31873531.
12. Isupov I.B., Zatrudina R.Sh., Gribkov V.Yu. Spectral characteristics of photoplethysmographic indicators of human peripheral vascular tone. Proc. SPIE 11847, 118470D (4 May 2021).
13. Баевский М.Р., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. // Вестник аритмологии. 2001. Т. 24. С.65-87.

## ОПТИЧЕСКОЕ ПРОСВЕТЛЕНИЕ ДЛЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПРЕССИИ dCAS9/FP В ПОДКОЖНЫХ КСЕНОГРАФТАХ ОПУХОЛЕЙ У МЫШЕЙ

Г.А. Абушинова<sup>1,2</sup>, В.В. Жердева<sup>1</sup>, Л.Г. Малошенко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ Биотехнологии РАН, Россия, Москва

<sup>2</sup>Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова, Россия Москва

DOI:10.24412/el-37145-2023-1-26-32

Впервые получены модели опухолевых ксенографтов с регулируемой экспрессией химер на основе ортологов dCas9, слитых с флуоресцентными цветными белками, на мышах линии nude, продемонстрирована возможность их флуоресцентной визуализации с использованием оптического просветления (ОП). Для этого были получены генно-инженерные конструкции, несущие различные сочетания химер ортологов каталитически неактивного мутанта эндонуклеазы Cas9 (dCas9) из двух видов бактерий: *Neisseriameningitides* (Nm) и *Streptococusthermophilus* (St1) и двух флуоресцентных белков (EGFP и mCherry). Полученные конструкции с помощью лентивирусной трансфекции были внесены в клетки аденокарциномы легкого человека A549. Клетки, экспрессирующие двойные химеры (St1dCas9-EGFP и NmdCas9-mCherry, клон E9) под индуцибельным доксициклиновым промотором Tet-On, были стабилизированы в виде опухолевых ксенографтов на бестимусных мышах. Для индукции флуоресценции химерных ортологов в ксенографтах животным вводили через зонд доксициклин (400 мкг двукратно) и регистрировали флуоресценцию с использованием планарной системы имиджинга. Максимальная интенсивность флуоресценции в ксенографтах опухолей регистрируется на 3-и сутки после индукции экспрессии химерного белка. Для улучшения контраста использовали 0,7 М раствор гадобутрола (ГБ), что приводило к увеличению интенсивности флуоресценции красной химеры на ~15 % раз вследствие эффекта

оптического просветления (ОП) кожи. Использование метода оптического просветления позволило получить высококонтрастную визуализацию двойной (красной и зеленой) флуоресцентной экспрессии химерных белков на основе dCas9 в опухолевых ксенографтах.

## Введение

Оптическая визуализация тканей и органов значительно усложняется из-за сильного рассеяния света. Уменьшению рассеяния способствует ряд подходов, в том числе такой недорогой и методически несложный подход как оптическое просветление (ОП). Оптическое просветление основано на обратимом выравнивании разницы между показателями преломления твердых компонентов ткани и межтканевой жидкости для уменьшения структурной неоднородности и, соответственно, светорассеяния, что обеспечивается применением иммерсионных растворов - оптических просветляющих агентов (ОПА) [1, 2].

Ранее продемонстрировано использование оптического просветления с использованием 70% раствора гадобутрола (ГБ) для визуализации низкоинтенсивной флуоресценции красного белка TagRFP, экспрессируемого клетками подкожного опухолевого ксенографта на мышах линии nude [3]. Если экспрессия флуоресцентных белков или химер осуществляется под индуцибельным промотером, то в этом случае флуоресцентный сигнал может развиваться во времени на протяжении нескольких дней. Поэтому интересным представлялось оценить возможность использования оптического просветления с использованием 70% раствора ГБ на более сложных моделях, а именно на подкожных ксенографтах, экспрессирующих химеры на основе ортологов dCas9 и цветных флуоресцентных белков, и подобрать соответствующий протокол ОП.

## Создание генно-инженерных сенсоров DCAS9-FP. Индуцибельная экспрессия под tet-on промотером

Генно-инженерные конструкции, несущие различные сочетания химер ортологов каталитически неактивного мутанта эндонуклеазы Cas9 (dCas9) и флуоресцентных белков (FU-tet-o-SpdCas9-EGFP, FU-tet-o-StCas9-EGFP, FU-tet-o-NmdCas9-mCherry), экспрессия которых находятся под контролем регулируемого промотора, индуцируемого тетрациклином (Tet-ON) получали по стандартным протоколам [4, 5].

При создании генетически-кодируемых гибридных молекул-сенсоров на основе флуоресцентных белков и мутантов семейства эндонуклеаз Cas9 был выполнен ряд требований. Во-первый, было необходимо, чтобы продукты экспрессии не накапливались в клетках в высокой концентрации, следствием чего могли стать цитотоксичность и фототоксичность. Для выполнения этого требования в качестве основы для получения конструкций был выбран лентивирусный вектор 3-го поколения FUDeltaGW, позволяющий регулировать экспрессию целевого и флуоресцентного белка в одной плазмиде по системе Tet-on.

Во-вторых, принимали во внимание ограничения, связанные с емкостью кассеты лентивирусных частиц, - не более 4kb. Ортологи dCas9 отличаются друг от друга тем, что узнают разные PAMы. Учитывая возможность использования PAM последовательностей как на (+), так и в (-) ориентации на комплементарных цепях ДНК, наличие трех ортологов dCas9 дает возможность создавать десятки различных комбинаций FRET-пар с различной взаимной ориентацией и линейным расстоянием друг от друга. Для выполнения второго условия было решено использовать два каталитически неактивных ортолога dCas9 из двух видов бактерий *Streptococcus thermophilus* (St1), и *Neisseria meningitidis* (Nm). Специфичность последовательности геномной ДНК, узнаваемой системой CRISPR-Cas9, определяется PAM и фрагментом sgRNA. Использование нескольких ортологов Cas9 различного бактериального происхождения, которые отличаются по PAM, увеличивает число возможных наборов последовательностей для специфической сборки Cas9 рибонуклеопротеина.



В-третьих, должны быть подобраны флуоресцентные белки на основе их яркости, устойчивости к фотовыцветанию, мономеры, для которых при sgRNA-опосредованном направлении химерных белков dCas9-FP к таргетным локусам ДНК, могут быть выполнены условия индуктивно-резонансного переноса энергии (FRET) при их взаимном близком расположении. С учетом данных требований были выбраны пары белков EGFP и mCherry.

Были получены генно-инженерные конструкции, несущие различные сочетания химер ортологов каталитически неактивного мутанта эндонуклеазы Cas9 (dCas9) из двух видов бактерий: *Neisseriameningitides* (Nm) и *Streptococcus thermophilus* (St1) и двух флуоресцентных белков (EGFP и mCherry).

В результате было получено 2 генно-инженерные конструкции с индуцибельной экспрессией dCas9-FP (Рисунок 1). Правильность сборки полученных конструкций была подтверждена секвенированием по методу Сэнгера.

### **Получение клеток, экспрессирующих химеры DCA9-FP. Доксциклин (DOX) зависимая tet-on экспрессия**

Полученные трансферные векторы были использованы для сборки лентивирусных частиц. Далее была проведена трансдукция лентивирусными частицами линии аденокарциномы легкого человека A549. В результате такой трансдукции была получена клеточная линия, экспрессирующая конструкции Fu-tet-o-NmdCas9-mCherry и Fu-tet-o-StdCas9-EGFP, в которой экспрессию флуоресцентных химер индуцировали добавлением доксициклина 1 мкг/мл. При отсутствии доксициклина экспрессии, и, соответственно, флуоресцентного сигнала не наблюдалось. Максимальный уровень экспрессии, определяемый по уровню флуоресценции, во всех случаях достигался через 72-96 ч после добавления доксициклина. Для получения стабильных клеточных линий проводили селекцию на пурамицине (1 мкг/мл) и последующий отбор клеток по интенсивности флуоресценции методом сбора клеток в одну пробирку на сортере FACS Aria SORP (Beckton Dickinson). Таким образом была получена клеточная линия, экспрессирующая одновременно StdCas9-EGFP и NmdCas9-mCherry (рисунок 2).

### **Флуоресцентная визуализация химер DCA 9-FP в подкожных ксенографтах у мышей. Индукция экспрессии химеры DCA9-FP IN VIVO**

Для прививки клеток животным использовали полученные клоны StdCas9-EGFP-NmdCas9-mCherry. В качестве экспериментальных животных были использованы мыши nu/nu, самки, массой 19-21 г, полученные на основе линии Balb/c (разведение питомника «Пушино» ФИБХ им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова). Перед исследованием мышей наркотизировали смесью «Золетил» (пр-во «VirbacSanteAnimale», Франция) с концентрацией 25 мг/мл и ксилазина в концентрации 20 мг/мл (препарат «Рометар», пр-во Bioveta, a.s., Чешская Республика) внутримышечно в соотношении золетил : рометар 1:1 в объеме 5 мкл.

В результате инокуляции опухолевых клеток в течение 10-14 дней у животных формировались опухолевые подкожные узлы. По достижении опухолями размера 5 мм животным давали доксициклин в количестве 200 мкг двукратно перорально через шприцевой зонд [6]. Экспрессия ортологов st1dCas9-EGFP и Nm dCas9-mCherry воспроизводилась на выборке из трех животных. При этом уровень сигнала варьировался от животного к животному. По литературным данным в различных моделях TET-on индукция может развиваться начиная с 4 часов после активации. Для опухолевых ксенографтов данный период индукции может составлять от 24 ч и выше [7].

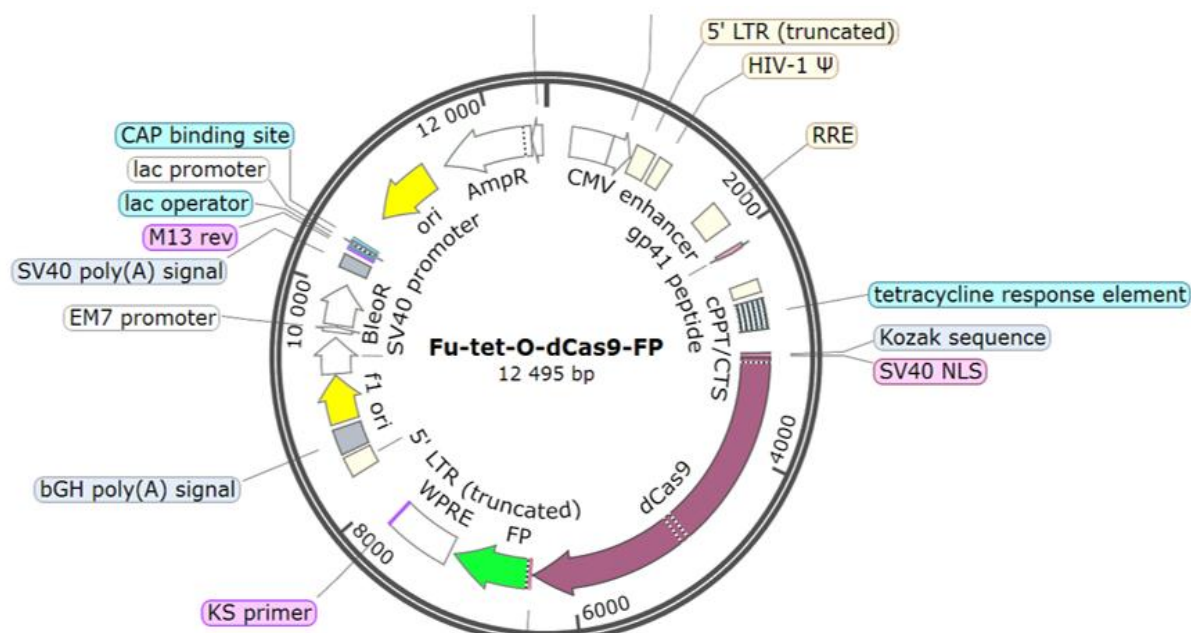


Рис.1. Карта генно-инженерной конструкции Fu-tet-O-dCas9-FP

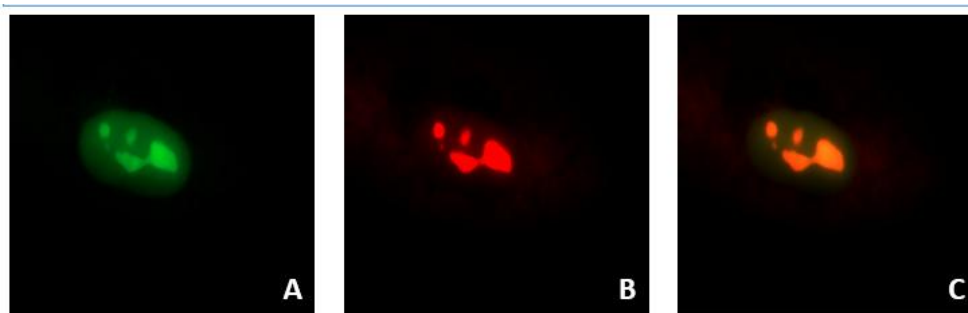


Рис. 2. Флуоресцентная микроскопия клеток линии A549, экспрессирующей StdCas9-EGFP-NmdCas9-mCherry через 48 ч после Tet-индуцированной экспрессии химер доксициклином (1 мкг/мл). Zeiss Axio Observer Z1, DI-AxioCam-HRm, x100 (Масштаб (мкм/пиксель): 100x/1,4 пикселя = 0,063 микрона), А – зеленый куб Пр. БП 470/40, БС ФТ 495/Эм. БП 525/50; Б – красный кубик: Пр. БП 550/25 БС ФТ 570/Эм. БП 605/70; С- наложение изображений (А) и (Б).

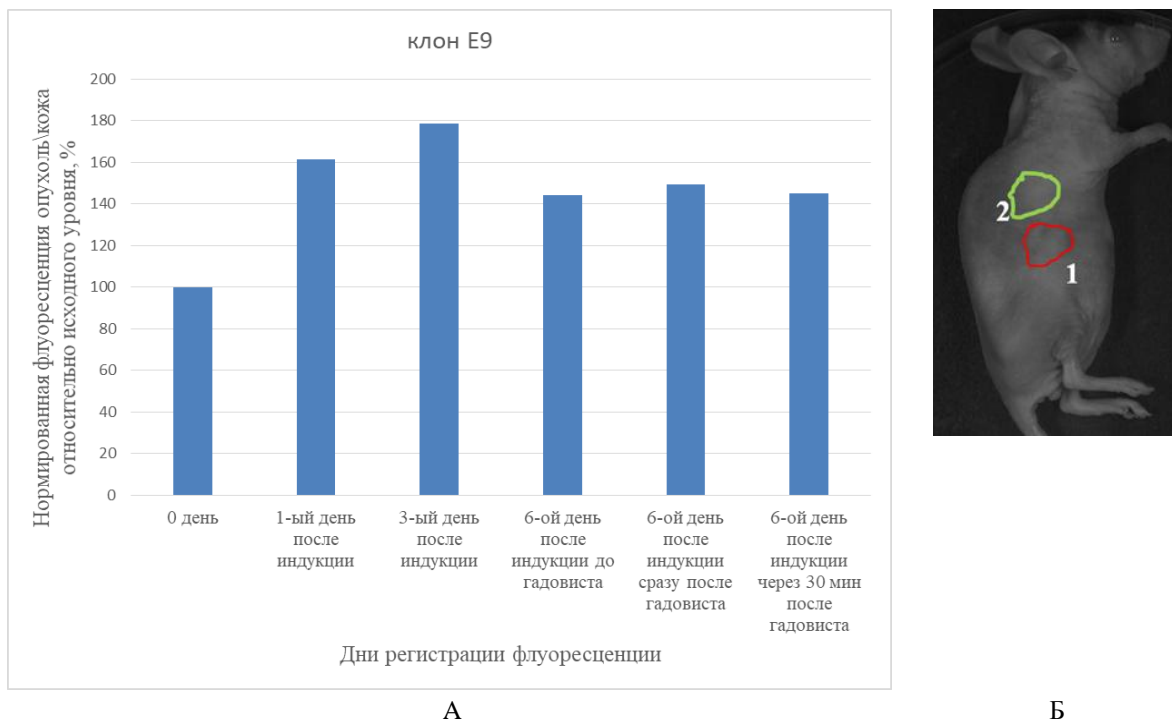
Регистрацию флуоресценции в подкожных ксенографтах и изучение влияние ОП на флуоресценцию проводили с использованием автоматизированной системы iBox (UVP, США). Базовым элементом установки является тёмный бокс с моторизованным лифтом и фильтрами для выделения диапазона длин волн, требуемого для возбуждения и регистрации флуоресценции. Установка оснащена автоматизированным источником Biolite для возбуждения люминесценции и охлаждаемой CCD-камерой. Источник света оснащен встроенной каруселью с фильтрами на возбуждение 440-470 нм, 502-547 нм.

Для регистрации флуоресценции белка mCherry использовали комбинацию фильтров: возбуждение - 502-547 нм и регистрация - 570-640 нм. Для регистрации флуоресценции белка EGFP использовали комбинацию фильтров: возбуждение - 440-470 нм и регистрация - 515-570 нм. Экспозицию варьировали от 10 до 15 секунд.

В нашем случае флуоресцентный сигнал регистрировали через сутки (24 ч) после доксициклиновой индукции, затем на 3-и сутки (72 ч) и на 6-е сутки (148 ч). Результаты приведены на Рисунке 3. Из Рисунка 3-А видно, что уровень флуоресцентного сигнала в опухоли растет и увеличивается в 1,6 и 1,8 раз на 1-ый и 3-ий день соответственно, а далее начинает медленно снижаться – 1,4 раза на 6-ой день.



В качестве просветляющего агента использовали гадобутрол («Гадовист», Bayer, ФРГ), который применялся в водных растворах в концентрации 0,7 М с добавлением 5% ДМСО. Гадобутрол наносили на кожу в зоне опухолевого роста, апплицировали 15 минут, после чего снимали видимые остатки просветляющего агента ватным тампоном согласно ранее предложенному протоколу [8].



**Рис. 3.** Изменение интенсивности нормированной флуоресценции в опухоли E9 (линия A549 st1dCas9 -EGFP- Nm dCas9-mCherry) после индукции Tet-on доксициклин-зависимой экспрессии ортолога Nm dCas9-mCherry до индукции (0 день), на 1-ый, 3-ий и 6-ой день после индукции. Возбуждение 502-547нм, регистрация 570-640 нм, iBox (UVP, США) (А). Выбор областей нормирования сигнала флуоресценции опухолей на примере одного животного, где 1- область опухоли, 2- кожа (Б)

Анализ изображений проводили с помощью программы ImageJ. При математической обработке полученных данных выделяли области опухоли и кожи (рис.3-Б). Рассчитывали среднюю интенсивность флуоресценции опухоли и кожи и нормировали среднюю интенсивность флуоресценции опухоли на таковую у кожи. Участок кожи выбирался таким образом, чтобы он не подвергался воздействию гадобутрола.

Ранее было показано, что наиболее подходящий период наблюдения - сразу после 15-минутного нанесения для измерения интенсивности флуоресценции после нанесения гадобутрола, также показано, что 0,7М гадобутрол с добавлением 5% ДМСО предпочтительнее 1 М гадобутрола, поскольку он позволяет наблюдать эффект ОП в течение более длительного периода времени [9].

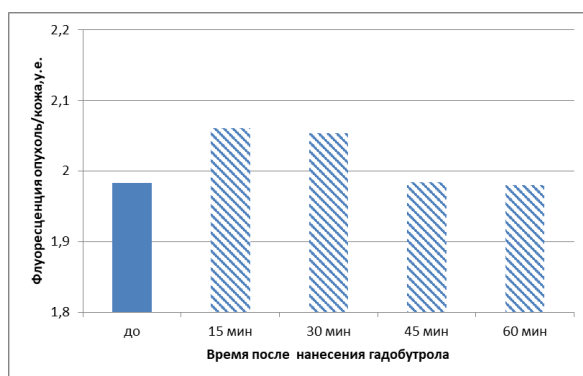
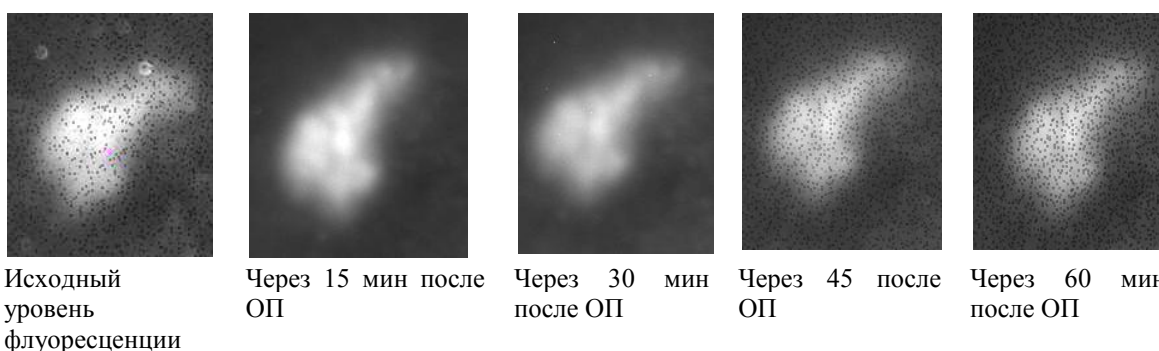
Схожий эффект наблюдали и в случае оптического просветления на основе 0,7 М гадобутрола для визуализации химерных белков dCas9-FP, экспрессируемых подкожными опухолевыми ксенографтами (Рис.3).

Использование ГБ на 6-ой день привело к незначительному увеличению сигнала. Таким образом, в результате предварительных исследований было показано, что через 48 часов после индукции регистрируется максимально высокий сигнал флуоресценции в опухолевых ксенографтах E9. В дальнейшем регистрацию флуоресценции на данных моделях проводили на 3-и сутки.

На рисунке 4-А приведены выделенные в программе ImageJ участки кожи с опухолью, на которых представлены флуоресцентные изображения опухоли в красном канале флуоресценции, где регистрируется флуоресценция ортолога Nm dCas9-mCherry. Из данных на Рисунке 4-Б следует, что максимальное увеличение интенсивности флуоресценции наблюдается в диапазоне 15-30 мин после аппликации гадобутрола и снижается до исходного уровня на 45-60 минутах, что согласуется с нашими предыдущими данными [9].

Как показано на Рисунке 4-А, аппликация 70% раствора гадобутрола улучшает разрешение объекта и его контраст в режиме планарной съемки. В меньшей степени выявляется изменение сигнала при возбуждении зеленой флуоресценции химеры St1dCas9-EGFP и красной флуоресценции NmdCas9-mCherry в диапазоне 440-470 нм в связи с большим рассеянием света в верхних слоях кожи (данные не приведены).

В связи с этим предварительную оценку уровня флуоресцентного сигнала в опухолях с низким сигналом флуоресценции не имеет смысл проводить при более коротковолновом возбуждении флуоресценции, а для повышения контраста изображения наиболее оптимально вести съемку во временном диапазоне 15-30 мин после снятия оптического просветляющего агента.



А

**Рис. 4.** Флуоресценция опухоли E9 (линия A549 St1dCas9-EGFP- NmdCas9-mCherry) после индукции Tet-on доксициклин-зависимой экспрессии химерного ортолога dCas9mCherry на 3-ий день с использованием 0,7М гадобутрола в качестве оптического просветляющего агента. Флуоресцентные изображения, возбуждение 502-547нм, регистрация 570-640 нм, iVox (UVP, США) (А) и нормированная на кожу флуоресценция в опухоли (Б) до оптического просветления, через 15 мин после ОП, через 30 мин после ОП, через 45 мин после ОП, через 60 мин после ОП. Результаты представлены для одного животного.

Б

## Выводы

Таким образом, оптическое просветление с использованием 70% раствора гадобутрола способствует небольшому увеличению интенсивности флуоресцентного сигнала (от 10 до 15 %), а что более важно, повышает контраст флуоресцентного изображения подкожных опухолевых ксенографтов экспериментальных животных после индукции экспрессии химерных белков dCas9-FP доксициклином, максимальный эффект достигается на 72 ч после индукции.

## Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-14-00205 <https://rscf.ru/project/22-14-00205/>

## Список литературы

1. Tuchin V.V. Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnostics. 3<sup>rd</sup> ed., PM254, Bellingham, WA, SPIE Press. 2015.
2. Башкатов А. Н., Генина Э. А., Тучин В. В. // Альманах клинической медицины. 2008. №17. С.1.
3. Bogdanov A.A. Jr., et al., "Magnetic resonance imaging study of diamagnetic and paramagnetic agents for optical clearing of tumor-specific fluorescent signal *in vivo*", Chapter 25. In : Tissue optical clearing: new prospects in optical imaging, D. Zhu, E. Genina, and V. Tuchin (Eds.), CRC Press (Taylor & Francis Group, LLC), Boca Raton FL; 2021.
4. Cong L., Ran F.A., Cox D. et al.// Science. 2013. Vol. 339. P. 819–823.
5. Ma H., Naseri A., Reyes-Gutierrez P. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2015. Vol. 112. P.3002–3007.
6. Cawthorne Christopher, Swindell Ric, Stratford Ian J. et al. // J. Biomol. Tech. 2007. Vol. 18 (2). P. 120–123.
7. Kistner M., Gossen F., Zimmermann J., Jerecic C. et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1996. Vol. 93 (20). P. 10933-10938.
8. Kazachkina N.I., Zherdeva V.V., Saydasheva A.N. et al. // Journal of Biomedical Photonics & Engineering. 2021. Vol.7(2). P. 0203011-0203017.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕКОРИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ЖЕЛЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В КАЧЕСТВЕ БИОСЕНСОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

И. В. Запороцкова, С. В. Борознин, П. А. Запороцков, Н. П. Борознина, А. Р. Эль Занин

*Волгоградский государственный университет, Россия, Волгоград*

DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-32-39

Установлено, что электрические и оптические свойства углеродных нанотрубок чувствительны к взаимодействию с биологическими молекулами. Данная особенность привела ученых к выводу, что УНТ могут быть перспективным материалом для использования в качестве биосенсоров. Было обнаружено, что УНТ, декорированные металлами, могут демонстрировать изменение намагниченности, плавные S-образные петли гистерезиса и полуметаллическое поведение. Все вышесказанное обуславливает актуальность теоретического исследования взаимодействия оксидов железа и углеродных нанотрубок. Это позволит уточнить детали данного процесса: геометрические и энергетические. В данной статье представлены результаты теоретического исследования свойств двух типов углеродных нанотрубок (кресло и зигзаг) с использованием квантово-химического метода теории функционала плотности в рамках модели молекулярного кластера. Исследован процесс внешней адсорбции оксида железа на поверхности нанотрубок. Определены основные энергетические характеристики этих процессов, такие как расстояние и энергия адсорбции. Для этого мы провели моделирование добавления оксида железа в трех положениях (над атомом, в центре связи между ними, в центре гексагона) и установили их наиболее эффективное взаимное расположение. Энергетически выгодными позициями являются расположение оксида железа над атомом поверхности нанотрубки или в центре связи между ними. Было обнаружено, что при взаимодействии нанотрубки и оксида металла происходит изменение зарядового распределения и ширины запрещенной зоны. Проведенные модельные эксперименты позволяют предсказать строение датчиков биосенсоров и заложить базис для дальнейших исследований в области взаимодействия декорированных нанотрубок с биообъектами.

### ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение биологических молекул является ключевым для здравоохранения, медицинских нужд, обеспечения экологической безопасности и защиты окружающей среды, поскольку позволяет решать широкий спектр задач – от предупреждения заболеваний до формирования новых лекарственных препаратов [1]. Соответственно, создание и модифицирование используемого для данных целей оборудования с целью повышения чувствительности, а также простоты проведения анализа позволит

человечеству существенно повысить свое качество жизни. Также особой важностью обладает селективность наносенсора в отношении конкретных объектов. Биосенсоры, совмещающие распознавание биообъектов с передачей этого в изменение физических или химических свойств, являются многообещающими в промышленном применении в силу возможности работать с низкоразмерными структурами [2]. С открытия углеродных нанотрубок (УНТ) в 1991 году они стали перспективным объектом исследования в силу своей большой удельной поверхности и уникальных электрических, механических и электрохимических свойств. Установлено, что электрические и оптические свойства углеродных нанотрубок чувствительны к взаимодействию с биологическими молекулами. Данная особенность привела ученых к выводу, что УНТ могут быть перспективным материалом для использования в качестве биосенсоров. Большая удельная поверхность углеродных наноструктур позволяет ожидать быстрого отклика системы на детектирование нанообъектов даже при малых их концентрациях. То есть УНТ выступают в качестве основного базиса для сверхчувствительных биосенсоров следующего поколения. Биосенсоры на основе углеродных нанотрубок могут применяться для селективного обнаружения вирусов [3-12], бактериальных [13-21] и грибковых агентов [22, 23], веществ, имеющих важное диагностическое значение, например, мочевины [24], холестерина [25-27], содержания глюкозы в различных биологических средах [28-35], а также маркеров заболеваний, например, рака [36-39] или сердечно-сосудистых заболеваний [40]. При сравнительном анализе сенсоров на основе углеродных нанотрубок и наиболее распространенных в практике становятся очевидными следующие плюсы нового материала:

1. высокая чувствительность благодаря большой удельной поверхности полых нанотрубок, УНТ могут быть использованы для иммобилизации ферментов, сохраняющих высокую биологическую активность.

2. быстрое время отклика, УНТ обладают выдающейся способностью опосредовать быструю кинетику переноса электронов, что ускорит быстроедействие системы при детектировании искомого биообъекта

3. более низкий потенциал окислительно-восстановительной реакции и меньшие эффекты загрязнения поверхности

4. высокая стабильность и более длительный срок службы.

Названные достоинства делают нанотрубки наиболее вероятным материалом для создания биосенсоров. В то же время сейчас наблюдается большое число исследований, связанных с функционализацией углеродных нанотрубок различными металлами и их оксидами. Было обнаружено, что УНТ, декорированные металлами, могут демонстрировать изменение намагниченности, плавные S-образные петли гистерезиса и полуметаллическое поведение [41]. Благодаря этим свойствам, становится возможным контроль транспорта лекарств с помощью декорированных УНТ путем приложения магнитного поля. В работе [42] обосновывается их использование в качестве мультимодальных агентов биовизуализации. Получали материал методом химического осаждения из газовой фазы, железосодержащим компонентом выступал пентакарбонилжелезо, из него же в ходе процесса пиролиза образовывался катализатор, способствующий росту нанотрубок. В конечном счете формировались нанотрубки, один конец которых замыкался кластером оксида железа. Их применение позволяет визуализировать клетки макрофагов с помощью явлений магнитного резонанса и флуоресценции в ближнем ИК-диапазоне. Таким образом, авторы отмечают возможную диагностическую ценность полученных материалов. Наряду с медицинским применением отмечают и возможность применения композитов на основе углеродных нанотрубок и оксида железа для очистки жидкостей от различных загрязняющих примесей, в частности, ионов сурьмы [43] и малатиона – инсектицида, относящегося к одной из наиболее распространенных групп подобных препаратов, а именно фосфорорганическим [44]. Довольно оригинальным является использование сходного материала для поглощения

электромагнитного излучения. Так, исследователям удалось получить материал на основе матрицы из оксида кремния, в которую помещался композит из углеродных нанотрубок с наночастицами железа, который демонстрировал высокие поглотительные свойства в отношении электромагнитного излучения при довольно малой толщине [45].

Все вышесказанное обуславливает актуальность теоретического исследования взаимодействия оксидов железа и углеродных нанотрубок. Это позволит уточнить детали данного процесса: геометрические и энергетические. Целью настоящей работы является изучение процесса присоединения оксида железа (II, III) к поверхности углеродной нанотрубки различной геометрии и выявление влияния подобного модифицирования на электронные свойства материала. Проведенные модельные эксперименты позволят предсказать строение датчиков биосенсоров и заложить базис для дальнейших исследований в области взаимодействия декорированных нанотрубок с биообъектами.

### Методика проведения модельного эксперимента

Рассмотрение взаимодействия углеродных нанотрубок и оксида железа II, III) производилось в рамках кластерной модели. В качестве объектов исследования выступали углеродные нанотрубки типа “зигзаг” (6,0) и “кресло” (6,6). Длина кластера выбиралась такой, чтобы при нахождении адсорбционного центра посередине нанотрубки можно было исключить влияние граничных эффектов. Для компенсации оборванных на границах нанотрубки химических связей ее концы замыкались псевдоатомами, в качестве которых выступали атомы водорода. Предварительно была проведена оптимизация геометрии как нанотрубок обоих типов, так и кластера оксида железа  $Fe_3O_4$ . Пошаговое приближение  $Fe_3O_4$  по нормали к поверхности нанотрубки производилось в трех положениях: один из атомов железа оксида располагался 1) над атомом углерода, 2) над центром связи углерод-углерод, 3) над центром гексагона (рис. 1). На каждом этапе приближения фиксировалась энергия системы для построения профиля поверхности потенциальной энергии взаимодействия. По нему впоследствии определялась энергия адсорбции  $E_a$  и расстояние  $r_a$ , на котором образуется связь. Геометрия системы оксид железа – углеродная нанотрубка, соответствующая условию минимума потенциальной энергии, оптимизировалась.

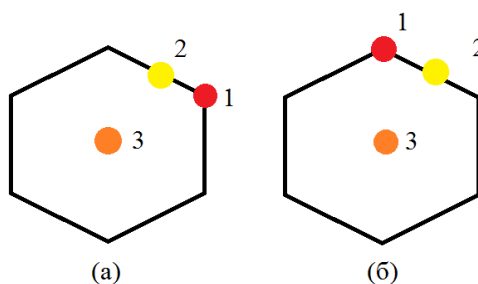


Рис. 1. Рассматриваемые варианты расположения одного из атомов железа оксида  $Fe_3O_4$  над поверхностью нанотрубки типа “зигзаг” (а) и “кресло” (б).

Все расчеты производились в рамках теории функционала плотности с использованием функционала B3LYP/6-31G. В качестве величины, определяющей электронные свойства углеродной нанотрубки, была выбрана ширина запрещенной зоны  $\Delta E_g$ , значение которой рассчитывалось как разность между энергией нижней вакантной молекулярной орбитали  $E_{LUMO}$  и энергией верхней заполненной молекулярной орбитали  $E_{HOMO}$ :

$$\Delta E_g = E_{LUMO} - E_{HOMO}.$$

Для построения графика функции плотности состояний использовалась программа GaussSum [46].



## Результаты и обсуждение

В результате проведенного модельного эксперимента на основании полученных данных были построены профили поверхности потенциальной энергии процессов.

Рассмотрим случай взаимодействия нанотрубки типа “зигзаг” с оксидом железа (II, III). Мы можем констатировать наличие минимума энергии во всех трех случаях приближения (рис. 2). Соответственно, адсорбция оксида железа на поверхности нанотрубки может происходить и над атомом, и над центром связи углерод-углерод, и над центром гексагона. При этом в зависимости от положения адсорбции энергия процесса  $E_a$  составляет от 0,54 до 0,56 эВ, а расстояние, на котором образуется связь,  $r_a$  – от 2,3 до 2,4 Å. Значения энергии адсорбции в различных положениях отличаются незначительно, соответственно, вероятно адсорбция в любое из рассмотренных положений.

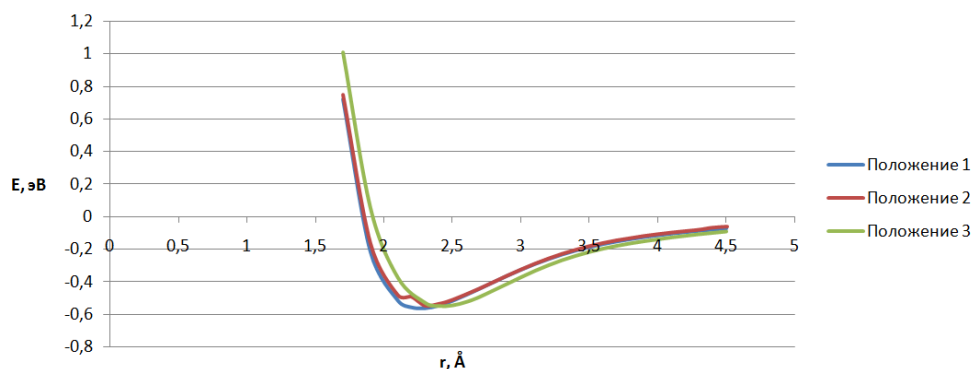
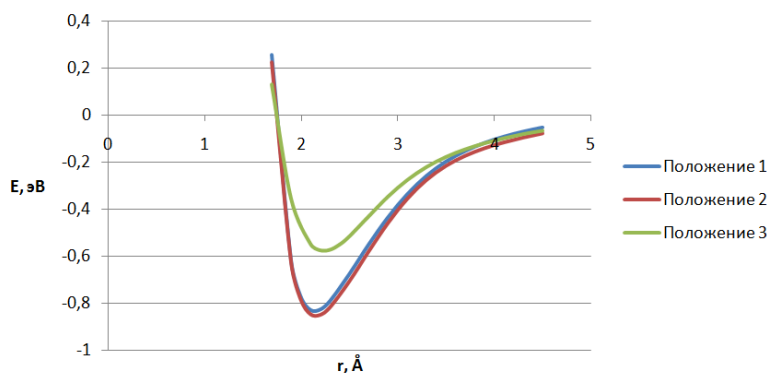


Рис. 2. Профили поверхности потенциальной энергии взаимодействия нанотрубки (6,0) (“зигзаг”) и оксида железа (II, III).

Перейдем к случаю взаимодействия нанотрубки типа “кресло” с оксидом железа (II, III). По характеру адсорбции здесь наблюдается ситуация, аналогичная взаимодействию оксида железа и нанотрубки типа “зигзаг”: во всех положениях адсорбции наблюдается наличие минимума (рис. 3). Энергия адсорбции  $E_a$  находится в пределах от 0,57 до 0,85 эВ, а расстояние адсорбции – от 2,1 до 2,2 Å. В данной ситуации адсорбция будет происходить преимущественно в положения 1 и 2, о чем свидетельствует большая глубина энергетического минимума в этих положениях по сравнению с минимумом в положении 3.

По результатам изучения зарядового распределения было установлено, что происходит перераспределение электронной плотности от ближайшего к нанотрубке атома железа на поверхность нанотрубки. Заряд на атоме железа в случае нанотрубки типа “зигзаг”  $Q_{Fe}$  составляет от 1,11 до 1,16, причем в изолированном состоянии в кластере оксида железа (II, III) заряд на этом же атоме составляет 0,88; в случае нанотрубки типа “кресло”  $Q_{Fe}$  составляет от 1,06 до 1,20. Заряд на атоме углерода при адсорбции в положении 1 для нанотрубки (6,6)  $Q_C = -0,42$ , для нанотрубки (6,0)  $Q_C = -0,47$ . При адсорбции в положении 2 приведен заряд  $Q_{C-C}$  на одном из ближайших атомов, для которого его значение будет минимально; в положении 3 приведем заряд  $Q_{C6}$  того атома из шести, составляющих гексагон, значение для которого этой величины минимально. Так, для нанотрубки (6,6)  $Q_{C-C} = -0,21$ ,  $Q_{C6} = -0,19$ ; для нанотрубки (6,0)  $Q_{C-C} = -0,22$ ,  $Q_{C6} = -0,16$ . Отметим, что в случае нанотрубки типа “зигзаг” при адсорбции в положении 2 электронная плотность распределяется практически равномерно между двумя атомами углерода, над центром связи между которыми расположен атом железа оксида: заряд составляет -0,21 на одном атоме углерода и -0,18 на другом. В случае нанотрубки “кресло” в положении 2 ситуация иная: на одном атоме углерода заряд составляет -0,22, а на другом составляет -0,14; следовательно, распределение электронной плотности смещено в

сторону одного из атомов. При адсорбции в положении 3 в случае нанотрубки (6,6) наблюдается смещение электронной плотности в сторону двух смежных атомов, заряды на которых составляют -0,18 и -0,16, в то время как на других атомах гексагона изменение заряда незначительно. Рассматривая аналогичный вариант для нанотрубки (6,0), мы можем говорить о распределении заряда между четырьмя атомами (заряд на этих атомах – в пределах от -0,11 до -0,16), составляющими гексагон, в то время как на оставшиеся два смещения электронной плотности практически не происходит.



**Рис. 3.** Профили поверхности потенциальной энергии взаимодействия нанотрубки (6,6) (“кресло”) и оксида железа (II, III).

Влияние адсорбции оксида железа (II, III) на поверхности углеродной нанотрубки различной геометрической конфигурации неоднозначно. Для нанотрубки типа “зигзаг” при присоединении в положении 1 и 2 мы наблюдаем снижение ширины запрещенной зоны, в то время как в положении 3 присоединение практически не влияет на данный параметр. В случае нанотрубки типа “кресло” во всех случаях адсорбции наблюдается рост ширины запрещенной зоны. Проиллюстрируем наши рассуждения графиками плотности состояний, представленными на рисунке 4. Видно, что уменьшение ширины запрещенной зоны в случае нанотрубки типа “зигзаг” в положениях 1 и 2 вызвано появлением в запрещенной зоне примесного энергетического уровня, что привело к снижению дна зоны проводимости (рис. 4б, 4в).

Все вышеупомянутые величины приведены в таблице 1, что сделано с целью обобщить полученные результаты.

### Заключение

В рамках настоящей работы были рассмотрены некоторые геометрические и энергетические аспекты присоединения оксида железа (II, III) к поверхности углеродных нанотрубок (6,6) и (6,0) в трех положениях: над атомом углерода, над центром связи углерод-углерод, над центром гексагона. Были определены значения энергии адсорбции и расстояния, на которых происходит данный процесс. Обсуждены вопросы смещения электронной плотности на основе анализа зарядового распределения. Оценено влияние адсорбции оксида железа на электронные свойства нанотрубок, для некоторых случаев предложено объяснение механизмов изменения ширины запрещенной зоны на основе графиков функций плотности состояний.

Было установлено, что для обоих типов нанотрубок адсорбция оксида железа на поверхности имеет место во всех рассмотренных положениях. Для нанотрубки типа “зигзаг” адсорбция оксида железа вероятна в любое из рассмотренных положений, в то время как для нанотрубки типа “кресло” положение над центром гексагона является энергетически невыгодным, соответственно, адсорбция в данном случае преимущественно будет идти в другие положения. Отмечается перераспределение

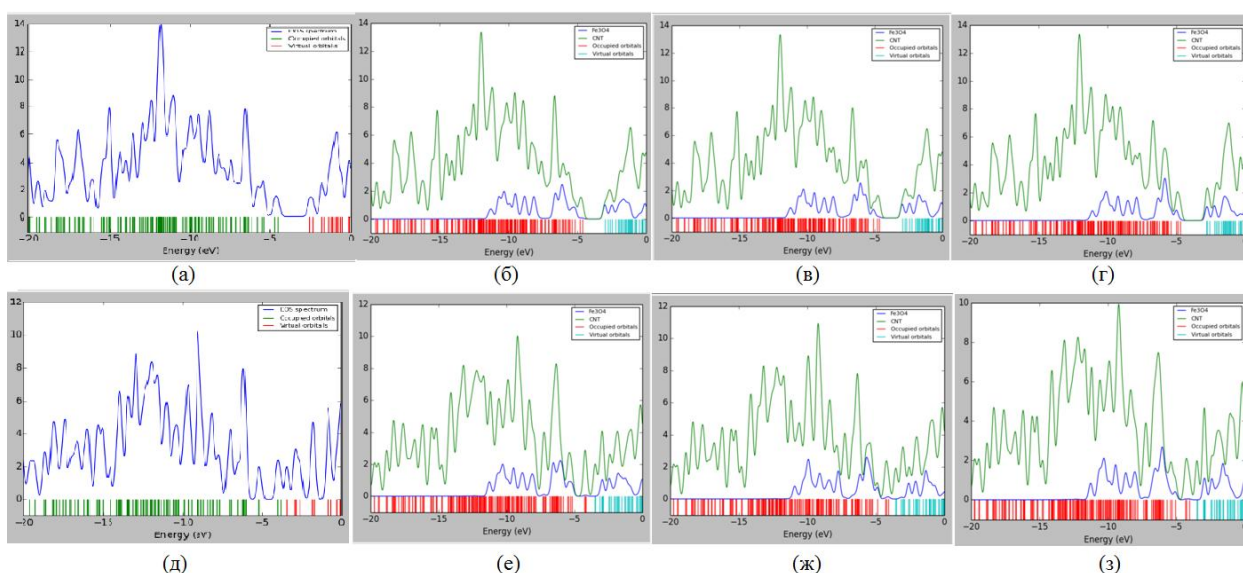


электронной плотности, при этом на поверхности нанотрубки возникают дополнительные носители заряда.

Таблица 1.

Основные параметры адсорбции  $Fe_3O_4$  на поверхности углеродных нанотрубок.

Положение одного из атомов Feоксида железа	Тип нанотрубки							
	(6,0) “зигзаг”				(6,6) “кресло”			
	чистая	1	2	3	чистая	1	2	3
$E_{as}$ , эВ	-	0,56	0,54	0,55	-	0,83	0,85	0,57
$r_a$ , Å	-	2,3	2,3	2,4	-	2,1	2,2	2,2
$Q_{Fe}$	-	1,11	1,13	1,16	-	1,06	1,12	1,20
$Q_C$	-	-0,42	-	-	-	-0,46	-	-
$Q_{C-C}$	-	-	-0,21	-	-	-	-0,22	-
$Q_{C6}$	-	-	-	-0,19	-	-	-	-0,16
$\Delta E_g$ , эВ	1,89	1,64	1,70	1,91	0,45	0,67	0,51	0,55



**Рис. 4.** Графики функции плотности состояний для чистой нанотрубки (6,6) (а) и комплексов этой нанотрубки с адсорбированным оксидом железа в положениях 1 (б), 2 (в), 3 (г), и чистой нанотрубки (6,0) (д) и комплексов этой нанотрубки с адсорбированным оксидом железа в положениях 1 (е), 2 (ж), 3 (з). На изображениях (а) и (д) функция плотности состояний имеет синий цвет, зеленым цветом в одноэлектронном спектре обозначены уровни энергии электронов валентной зоны, красным цветом – уровни энергии электронов зоны проводимости; на изображениях (б)-(г), (е)-(з) функция плотности состояний нанотрубки построена зеленым цветом, синим цветом построена функция, отражающая вклады примеси (оксида железа) в зоны нанотрубки, красным цветом в одноэлектронном спектре обозначены уровни энергии электронов валентной зоны, голубым – уровни энергии электронов зоны проводимости.

Уменьшение ширины запрещенной зоны в случае адсорбции в положения 1 и 2 нанотрубки(6,6) связано со снижением дна зоны проводимости из-за возникновения в запрещенной зоне примесных уровней; адсорбция в положении 3 практически не влияет на ширину запрещенной зоны. Для нанотрубки (6,0) наблюдается противоположная картина – ширина запрещенной зоны увеличивается в результате адсорбции оксида железа во всех трех положениях.

Таким образом, мы установили, что путем модифицирования углеродных нанотрубок путем присоединения к их поверхности оксида железа, возможно управление их электронными свойствами, в частности, шириной запрещенной зоны. Учитывая

наличие зависимости между шириной запрещенной зоны и показателем преломления [47], становится возможным применение рассмотренных комплексов для оптических приложений. Подобные комплексы также перспективны для использования в качестве биосенсоров, позволяющих детектировать присутствие в среде микроколичеств различных веществ на основании указанных закономерностей, что в конечном счете делает их чрезвычайно полезными для экологических и медицинских исследований.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема “FZUU-2023-0001”).

### Список литературы

1. Yang N., Chen X., Ren T. et al. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2015. Vol. 207. P. 690-715.
2. De Volder M.F.L., Tawfik S.H., Baughman R.H. et al. // *Science*. 2013. Vol. 339. №. 6119. P. 535-539.
3. Ahmed S.R., Kim J., Suzuki T. et al. // *Biosens. Bioelectron*. 2016. Vol. 85. P. 503-508.
4. Ma Y., Shen X.L., Zeng Q. et al. // *Talanta*. 2017. Vol. 164. P. 121-127.
5. Cabral D.G.A., Lima E.C.S., Moura P. et al. // *Talanta*. 2016. Vol. 148. P. 209-215.
6. Tian J., Wang D., Zheng Y. et al. // *Int. J. Electrochem. Sci*. 2017. Vol. 12. №. 1. P. 2658-2668.
7. Fu Y., Romay V., Liu Y. et al. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2017. Vol. 249. P. 691-699.
8. Cui F., Zhou Z., Zhou H.S. // *Sensors*. 2020. Vol. 20. №. 4. P. 996.
9. Lu Q., Su T., Shang Z. et al. // *Biosens. Bioelectron*. 2021. Vol. 184. P. 113229.
10. Thanhaichelvan M., Surendran S.N., Kumanan T. et al. // *Mater. Today: Proc*. 2021. Vol. 49. P. 2546-2549.
11. Somvanshi S.B., Kharat B., Saraf T.S. et al. // *Mater. Res. Innovations*. 2021. Vol. 25. №. 3. P. 169-174.
12. Shao W., Shurin M.R., Wheeler S.E. et al. // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2021. Vol. 13. №. 8. P. 10321-10327.
13. Wang C., Wang P., Chen J. et al. // *Nano Energy*. 2022. Vol. 93. P. 106828.
14. Behoftadeh F., Faezi Ghasemi M., Mojtahedi A. et al. // *Archives of Microbiology*. 2023. Vol. 205. №. 2. P. 70.
15. Qu X., Qi P., Wang P. et al. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2023. Vol. 390. P. 133917.
16. Shumeiko V., Zaken Y., Hidas G. et al. // *IEEE Sensors Journal*. 2022. Vol. 22. №. 7. P. 6277-6287.
17. Sun Q., Ma C., Li W. et al. // *ACS Applied Electronic Materials*. 2023. Vol. 5. №. 5. P. 2558-2565.
18. Ertaş T., Dinç B., Üstünsoy R. et al. // *Instrumentation Science & Technology*. 2023. P. 1-16.
19. Abedi R., Raouf J.B., Mohseni M. et al. // *Bioelectrochemistry*. 2023. Vol. 150. P. 108332.
20. Ali M.R., Bacchu M.S., Das S. et al. // *Talanta*. 2023. Vol. 253. P. 123909.
21. Hassan R.Y.A., Wollenberger U. // *Electroanalysis*. 2019. Vol. 31. №. 6. P. 1112-1117.
22. Hassan R.Y.A., El-Attar R.O., Hassan H.N.A. et al. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2017. Vol. 244. P. 565-570.
23. Villamizar R.A., Maroto A., Rius F.X. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2009. Vol. 136. №. 2. P. 451-457.
24. Magar H.S., Hassan R.Y.A., Abbas M.N. // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. №. 1. P. 2034.
25. Nawaz M.A.H., Majdinasab M., Latif U. et al. // *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2018. Vol. 159. P. 398-405.
26. Ghanei Agh Kaariz D., Darabi E., Elahi S.M. // *Journal of Theoretical and Applied Physics*. 2020. Vol. 14. P. 339-348.
27. Kavacı M., Kilic M.S. // *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2023. Vol. 70. №.3. P. 1137-1148.
28. Zhang W., Du Y., Wang M.L. // *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2015. Vol. 4. P. 96-102.
29. Liu J., Sun S., Shang H. et al. // *Electroanalysis*. 2016. Vol. 28. №. 9. P. 2016-2021.
30. Huang G.K., Gupta S., Lee C.Y. et al. // *Diamond and Related Materials*. 2022. Vol. 129. P. 109385.
31. Lin M.H., Gupta S., Chang C. et al. // *Microchemical Journal*. 2022. Vol. 180. P. 107547.
32. Silva M.N.T., Rocha R.G., Richter E.M. et al. // *Biosensors*. 2023. Vol. 13. – №. 6. P. 646.
33. Han D.K., Li C.A., Song S.H. et al. // *Journal of Analytical Science and Technology*. 2023. Vol. 14. №. 1. P. 9.
34. Singh A.K., Jaiswal N., Tiwari I. et al // *Microchimica Acta*. 2023. Vol. 190. №. 2. P. 55.
35. Sriwichai S., Phanichphant S. // *Express Polymer Letters*. 2022. Vol. 16. №. 4. P. 439-450.
36. Li L., Liu X., Wei T. et al. // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2023. Vol. 15. №. 22. P. 27299-27306
37. Makableh Y., Athamneh T., Ajlouni M. et al. // *Sensors and Actuators Reports*. 2023. Vol. 5. P. 100158.
38. Ma S., Zhang Y., Ren Q. et al. // *Biosensors and Bioelectronics*. 2022. Vol. 197. P. 113785.
39. Aasi A., Aasi E., Aghaei S.M. et al. // *Journal of Molecular Graphics and Modelling*. 2022. Vol. 114. P. 108208.
40. Nandeshwar R., Illa M.P., Khandelwal M. et al. // *Biosensors and Bioelectronics: X*. 2022. Vol. 12. P. 100252.
41. Wu C., Shi K.L., Zhang Y. et al. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2018. Vol. 465. P. 114-121.

42. Choi J.H., Nguyen F.T., Barone P.W. et al. // Nano letters. 2007. Vol. 7. №. 4. P. 861-867.
43. Cheng Z., Lyu H., Shen B. et al. // Chemosphere. 2022. Vol. 288. P. 132581.
44. Eskandarimakvand M., Sabzalipour S., Cheraghi M. et al. // Pollution. 2022. Vol. 8. №. 1. P. 281-293.
45. Zhou X., Han H., Wang Y. et al. // Journal of Materials Science & Technology. 2022. Vol. 121. P. 199-206.
46. O'boyle N.M., Tenderholt A.L., Langner K.M. // J. Comp. Chem. 2008. Vol. 29. №. 5. P. 839-845.
47. И. В. Запороцкова, С. В. Борознин, М. Б. Белоненко и др. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2022. Т. 86. №. 12. С. 1704-1707.

## СПЕКТРОСКОПИЯ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

## ЯМР СПЕКТРОСКОПИЯ В УСТАНОВЛЕНИИ СОСТАВА СМЕСИ ИЗОМЕРНЫХ СПИРОПИРОЛИЗИДИНОВ

А. С. Кочуков\*, С. В. Борисова\*\*, В.В. Сорокин\*

\*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов

\*\*Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Россия, Саратов

DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-40-42

Методами одномерной и двумерной ЯМР спектроскопии ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , HMBC, HSQC, NOESY-2D) установлено строение и определены структурные особенности изомерных спиропирролизидинов, полученных с помощью реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения.

## Введение

Применение методов ЯМР спектроскопии имеет огромное значение для развития современного органического синтеза, так как позволяет получить подробную информацию о структурном и пространственном строении органических соединений. Однако анализ сложных смесей изомеров этими методами остаётся нетривиальной задачей и требует более детального прорабатывания алгоритма их использования.

## Обсуждение результатов

В продолжение наших исследований в области согласованных процессов [1-3], нами изучено циклоприсоединение или денмалонитрилов **1a-i** и азометинида, генерируемого *insituc* участием изатина и пролина. В данной работе приведена последовательность анализа методами ЯМР спектроскопии изомерной смеси спиропирролизидинов **2a-i**, **2'a-i**, **3a-i**, полученной в результате этой реакции.

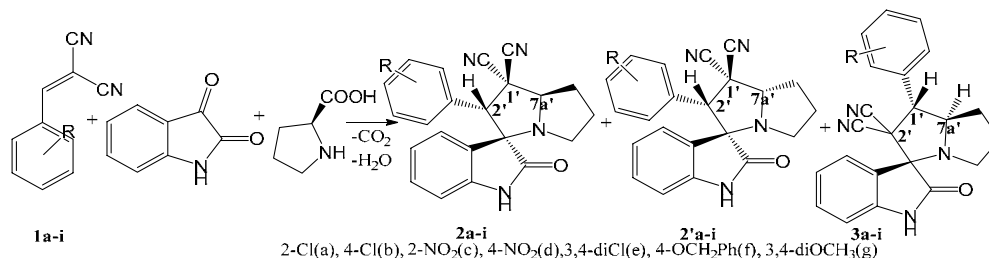


Рис. 1. Схема реакции циклоприсоединения илиденмалонитрилов **1 a-i**, изатина и пролина

Прежде всего, оценено количество полученных изомеров по результатам спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , а также двумерной спектроскопии HSQC.

В спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  присутствуют характерные сигналы протонов пирролизидинового кольца, образованного именно в процессе циклоприсоединения, для трех соединений, а также сигналы протонов фенильного, пролинового и оксоиндольного фрагментов. Одинаковая интегральная интенсивность сигналов протонов для одного типа продуктов позволяет сделать вывод о принадлежности этих протонов к одной структуре.

В спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  присутствуют сигналы спироциклического, карбамидного, нитрильных атомов углерода для всех трёх продуктов. Кросс-пики двумерных спектров HSQC показывают корреляции между непосредственно связанными атомами углерода и водорода, что также позволяет соотнести полученные результаты и сделать вывод о принадлежности всех полученных продуктов к спиропирролизидин дикарбонитрилам.

Корреляции, полученные методом двумерной ЯМР спектроскопии HMBC, наблюдаются между атомами водорода и углерода, находящимися через 2-3 связи и позволяет определить последовательность связывания выявленных фрагментов, различающуюся у структурных изомеров. В представленном случае продукты **2** и **2'** имеют

одинаковые типы корреляций ( $2'$ -H/ $C_{\text{spiro}}$ ,  $2'$ -H/ $C=O$ ), а значит, имеют одинаковую структурную формулу, а продукт **3** является структурным изомером, отличающимся положением фенильного и нитрильных заместителей в пирролидиноновом кольце (не имеет аналогичных корреляций в двумерных спектрах, сигналы протонов пирролидинонового кольца другой мультиплетности).

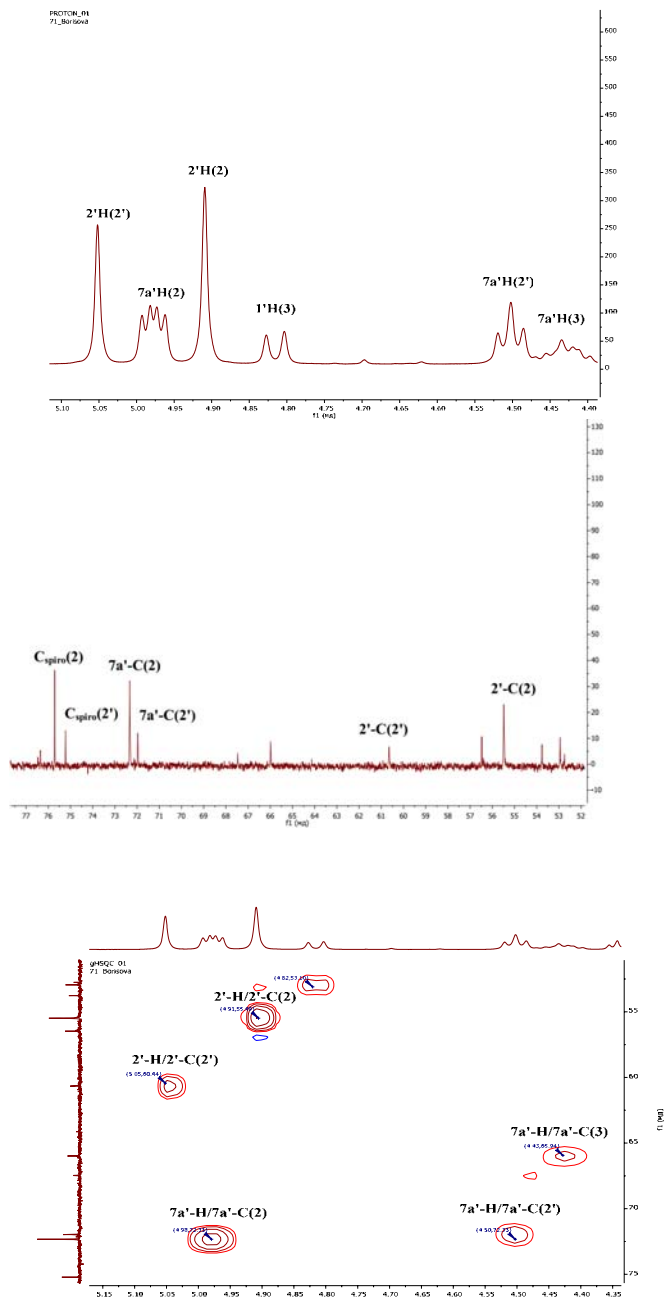


Рис. 2. Фрагмент спектра ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , HSQC смеси продуктов **2e**, **2'e**, **3e**

Очевидно, что продукты **2** и **2'** имеют разное стереохимическое строение. Это было подтверждено результатами двумерной спектроскопии  $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  NOESY. В спектре  $2\text{D}^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  NOESY **2e** обнаружена корреляция протона при атоме углерода  $3'$ -CH и оксоиндольного протона (4,91/7,45), **2'e** – корреляция протона при атоме  $3'$ -CH и оксоиндольного протона, корреляция протонов при атоме  $5'$ -CH и протона  $3'$ -CH, отсутствующая у мажорного диастереомера. Следовательно, положение индольного и пролинового фрагментов в пространстве у этих соединений разное, как показано на рисунке, а значит, они являются диастереомерами.



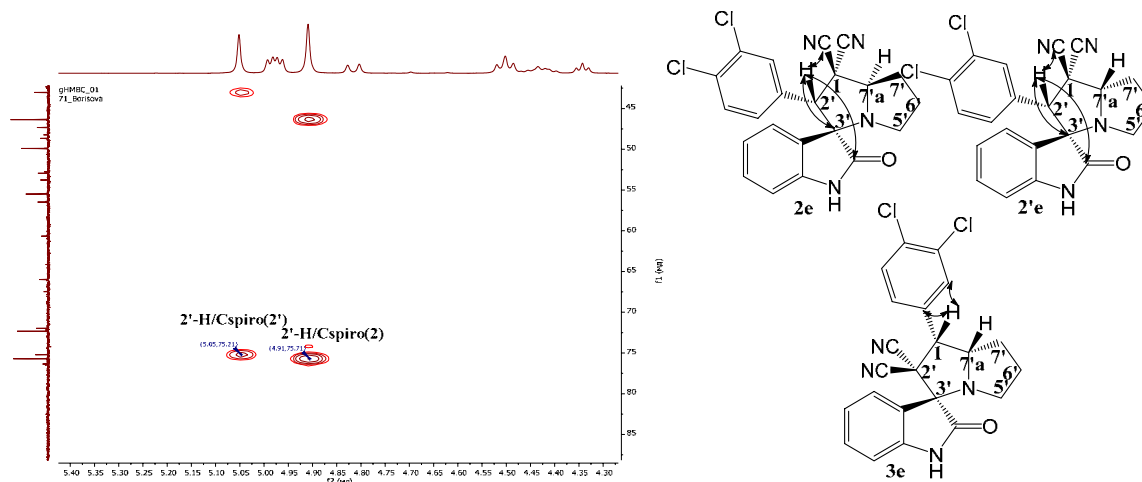


Рис. 3. Фрагмент спектра ЯМР  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  HMBC смеси продуктов **2e**, **2'e**, **3e** основные корреляции в ЯМР  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  HMBC спектре (показаны стрелками).

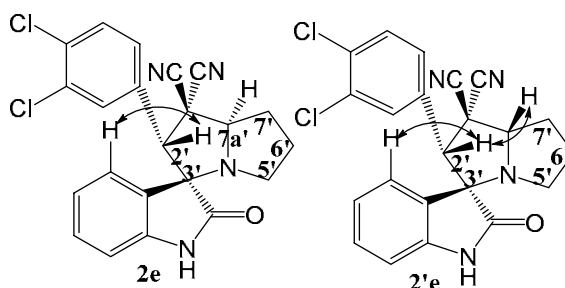


Рис. 4. Основные корреляции в спектре  $2\text{D}^1\text{H}-^1\text{HNOESY}$  продуктов

Заметим, что в большинстве случаев сигналы протонов ароматической области спектров (фенильного и индольного фрагментов) имели очень близкие значения и не удавалось однозначно определить их принадлежность. Отнесение сигналов во всей области спектров сделано для смеси продуктов **2e**, **2'e**, **3e** и **2b**, **2'b**, **3b**, что обеспечено не только разницей этих сигналов, но и их различной интенсивностью. Однако значения и мультиплетность сигналов протонов пирролидинового фрагмента позволили однозначно произвести отнесение их к разным типам продуктов и по соотношению интегральной интенсивности определить и соотношение продуктов в полученной смеси, что является необходимой стадией для определения причин образования разных изомеров и поиска путей селективного синтеза определённого спиро-пирролизидиндикарбонитрила.

## Заключение

Таким образом, комплексное использование спектральных методов позволяет устанавливать состав смеси и строение продуктов циклоприсоединения азометин-илидов и илиденмалонитрилов, содержащей не только структурные, но и пространственные изомеры.

## Список литературы

1. Борисова С. В., Сорокин В., Ключкова И.Н. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология, 2021, Т. 21. №3. С. 254-259.
2. Борисова С.В., Сорокин В.В. // Журнал общей химии, 2022, Т. 92. № 1. С. 22-30.
3. Борисова С. В., Абдуллаева С. Ч., Сорокин В. В. Применение двумерной спектроскопии ЯМР с анализе продуктов реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения некоторых азометин-илидов и бензилиденмалонитрилов// Материалы 9-го Международного симпозиума по оптике и биофотонике и 25-й Международной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике «Проблемы оптической физики и биофотоники SFM-2021» Саратов, 2021. С 56-59.

## ЯМР И ИК СПЕКТРОСКОПИЯ В УСТАНОВЛЕНИИ СТРОЕНИЯ НОВЫХ (СПИРО)(ХРОМЕНО)ПИРАЗОЛИНОВ И ПИРАЗОЛОВ

Е. А. Константинова, Д.В. Видлацкая, К. А., Мелконян, А.А. Мещерякова, Б. Н. Пятунин, В.В. Сорокин

*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия, Москва*

DOI:10.24412/ci-37145-2023-1-43-46

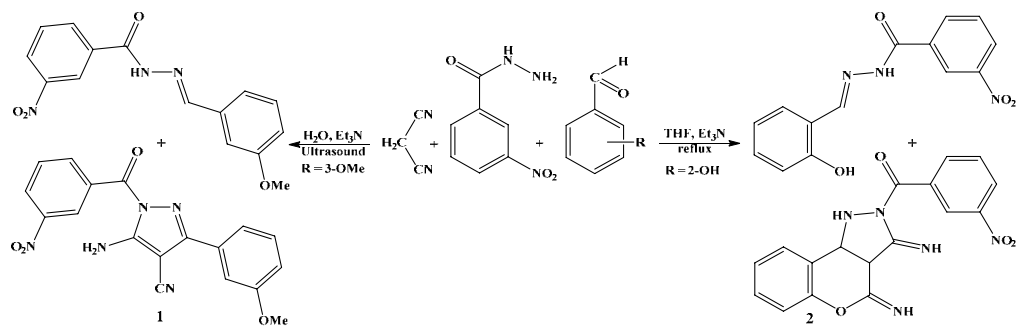
Методами одномерной и двумерной ЯМР ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , НМВС, COSY, HSQC) и ИК-спектроскопии установлены строение и структурные особенности новых пиразолинов, спиропиразолинов и хроменопиразолов.

### Введение

Замещенные пиразолы, хроменопиразолы и их производные обладают широким спектром биологической активности, а также представляют интерес для прикладных исследований и синтеза на их основе различных конденсированных полигетероциклических систем [1-5].

### Результаты и обсуждение

Ранее мы синтезировали новые системы спиропиразолинового ряда на основе гидразидовнитроаренов и изоникотиновой кислоты [6]. В настоящей работе нами установлено, что использование в подобных трехкомпонентных реакциях 3-нитробензогидразидов и замещенных ароматических альдегидов (3-метоксибензальдегид и салициловый альдегид) позволяет получить новые потенциально биологические 5-амино-1-(нитробензоил)-1Н-пиразол-4-карбонитрил **1**, и хромено[4,3-с]пиразол **2**, тем самым расширив ряд пиразолокарбонитрилов и хроменопиразолов с ароильными заместителями. Одномерная и двумерная ЯМР-спектроскопия, а также ИК-спектроскопия позволили установить не только строение целевых соединений, но и образующихся примесей.



Ключевыми сигналами в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  для пиразолокарбонитрила **1** являются синглет аминогруппы (6.10 м.д.) в спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  – сигналы цианогрупп (120.32 м.д.) и атомов углерода  $\text{C}^3$  (78.86 м.д.). К характерным сигналам побочного продукта – основания Шиффа относятся синглеты метинового протона (8.85 м.д.) и иминогруппы (11.33 м.д.).

В ИК-спектре гидрохромено[4,3-с]пиразола **2** отсутствует полоса цианогруппы, присутствуют характерные колебания N-H (3255.02  $\text{cm}^{-1}$ ) колебания ароматического кольца (3065.02  $\text{cm}^{-1}$ ),  $\text{C}^{\text{sp}^3}\text{-H}$  (2960.86; 2870.20  $\text{cm}^{-1}$ ).

В ЯМР  $^1\text{H}$  спектре смеси (3,4-диимино-1,3a,4,9b-тетрагидрохромено [4,3-с]пиразол-2(3H)-ил)(3-нитрофенил) метанона **2** и побочного продукта - основания Шиффа характерными являются сигналы вицинальных протонов  $\text{H}^2$  и  $\text{H}^1$  (4.80, 5.84 м.д.), иминогрупп (3.59, 8.06, 8.09 м.д.). Также в спектре наблюдаются сигналы гидроксигруппы (10.42 м.д.), иминогруппы (10.99 м.д.) и метинового протона (7.83 м.д.) основания Шиффа.

В двумерном спектре HSQC тетрагидрохромено[4,3-с]пиразола **2** присутствуют корреляции ( $H^2/C^2$ ), 5.84/53.71 ( $H^1/C^1$ ). В спектре НМВС присутствуют корреляции вицинальных протонов  $H^1$  и  $H^2$  с атомами углерода  $C^1$ ,  $C^2$ ,  $C^3$ ,  $C^{10}$ ,  $C^{16}$ : 4.81/53.70 ( $H^2/C^1$ ); 4.8/144.79 ( $H^2/C^{10}$ ); 4.8/163.35 ( $H^2/C^{16}$ ); 4.8/187.42 ( $H^2/C^3$ ); 5.84/51.85 ( $H^1/C^2$ ); 5.84/187.42 ( $H^1/C^3$ ).

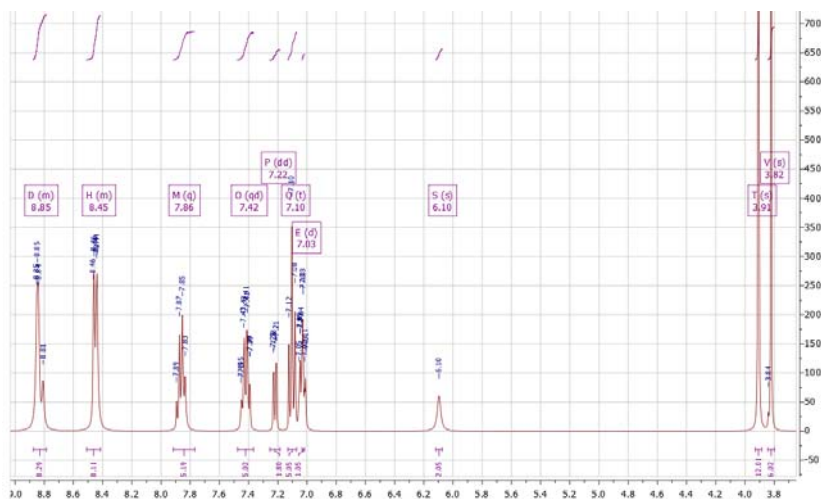


Рис. 1. ЯМР<sup>1</sup>H спектр ( $\delta$ , м.д.) смеси 5-амино-3-(3-метоксифенил)-1-(3-нитробензоил)-1H-пиразол-4-карбонитрила и N'-(3-метоксибензилиден)-3-нитробензгидразида (acetone- $d_6$ )

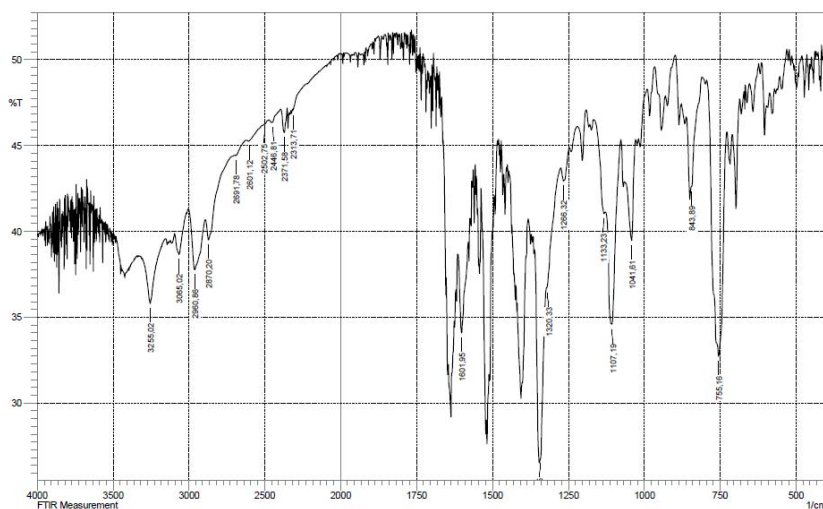


Рис. 2. ИК-спектр ( $KBr$ ,  $cm^{-1}$ ) смеси (3,4-димино-1,3a,4,9b-тетрагидрохромено[4,3-с]пиразол-2(3H)-ил)(3-нитрофенил)метанона **2** и основания Шиффа

В продолжение изучения синтеза новых систем ряда спиропиразолинов, имеющих енаминитрильный фрагмент, нами были получены 3-амино-1,2-дiazаспиро[4.4]дец-4-карбонитрил **3** [7] и 3-амино-1,2-дiazаспиро[4.4]нон-4-карбонитрил **4** посредством трехкомпонентной реакции гидразина гидрата, циклоалканонов и малонитрила в условиях ультразвуковой активации в воде с добавлением триэтиламина в качестве основного катализатора.



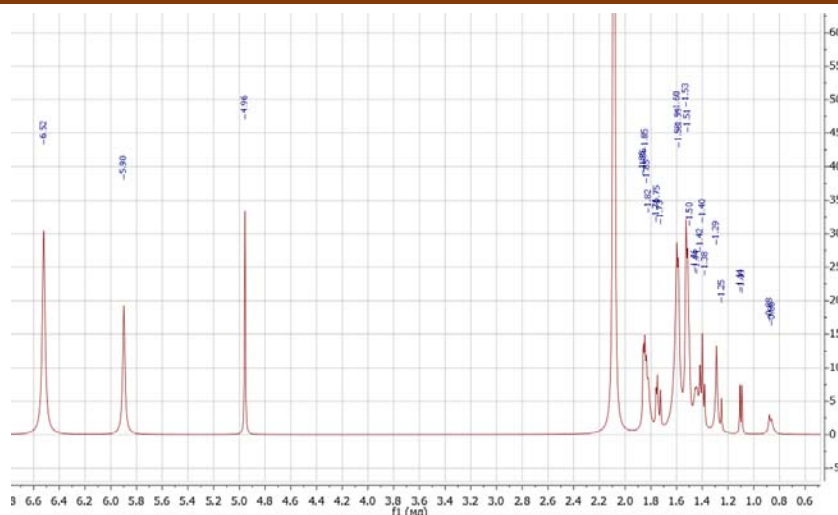


Рис.5. ЯМР  $^1\text{H}$  спектр ( $\delta$ , м.д.) 3-амино-1,2-дiazаспиро[4.4]нон-4-карбонитрила4.

В двумерном спектре НМВС присутствуют корреляции атомов аминогруппы со Spirocyclic (4.95/66.93 м.д.) and Alicyclic (4.95/37.18 м.д.) атомами углерода.

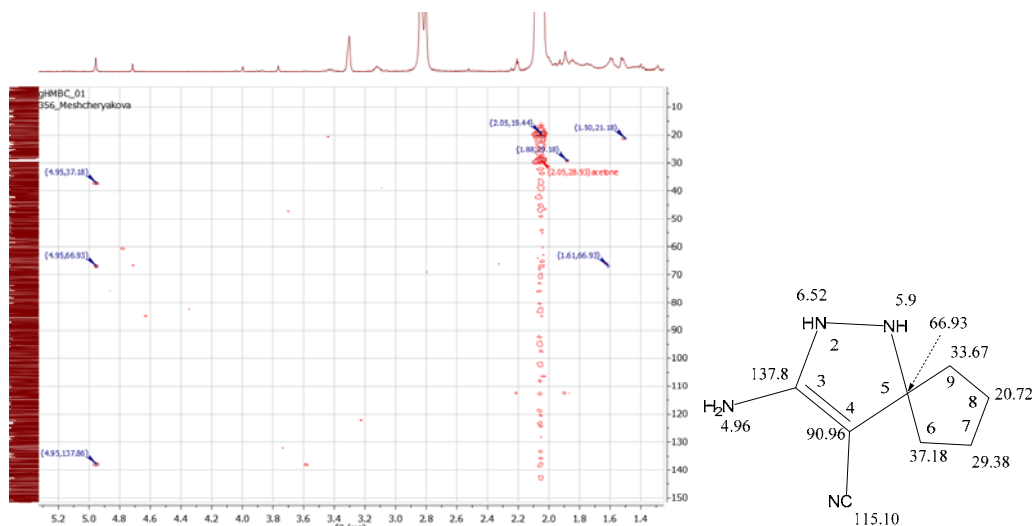


Рис. 6. Корреляции протонов в спектре ЯМР НМВС 3-амино-1,2-дiazаспиро[4.4]нон-4-карбонитрила4

## Заключение

Таким образом, комплексное использование спектральных методов позволяет устанавливать строение хромено[4,3-с]пирозолов и пирозолкарбонитрилов, сочетающих в молекуле гетероциклические и ароматические кольца близкими структурными фрагментами, а также возможные примеси, образующиеся в ходе синтеза.

## Список литературы

1. Desai N.C., Vaja D.V., Jadeja K.A. et al. // *Anti-Infective Agents*. 2020. Vol. 18(3). P. 306–314. DOI: 10.2174/2211352517666190627144315
2. Wang G., Liu W., Peng Z. et al. // *Bioorg. Chem*. 2020. Vol. 103. P. 104141. doi:10.1016/j.bioorg.2020.104141
3. Yin Y. et al. // *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2019. Vol. 27. №. 11. P. 2261-2267.
4. Hamdi N. et al. // *Medicinal Chemistry Research*. 2011. Vol. 20. P. 522-530.
5. Mohamed S., Dawoud, N., Shabaan, S.N. et al. // *J. Chem*. 2021. Vol. 64(6). P. 3187–3203. DOI: 10.21608/EJSCHEM.2021.62916.3350.
6. Мещерякова А. А., Неумоина К. С., Сорокин В. В. // *Журнал органической химии*. 2023. Т. 59. № 8. С. 1025-1031. DOI 10.31857/S0514749223080037. – EDNJOWUZF.
7. Ивонин М. А., Бычок, О. Ю., Сафарова, Н. В. и др. // *Журнал общей химии*. 2017. Т. 87. №. 10. С. 1728-1731.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАКЦИЙ ДИЕНОНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИКЛОГЕКСАНА С ПОЛИНУКЛЕОФИЛЬНЫМИ АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТАМИ СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ 2,6-БИС(4-ГИДРОКСИ-3-МЕТОКСИБЕНЗИЛИДЕН)ЦИКЛОГЕКСАНОНА

Д.А. Пузанов, Д.А. Рогов, Н.О. Василькова, А.П. Кривенько

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*

DOI:10.24412/el-37145-2023-1-47-51

Спектральными (ИК-, ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , HSQC и HMBC) методами определено строение продуктов конденсации 2,6-бис(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)циклогексанона (циквалона) с азотсодержащими полинуклеофильными реагентами: 4-нитро- и 2,4-динитрофенилгидразинами (4-NPH и 2,4-NPH), 3-амино- и 4-амино-1,2,4-триазолами (3-АТА и 4-АТА). Установлено, что в зависимости от строения реагентов реакция протекает избирательно по карбонильному атому углерода с образованием гидразонов либо по сопряженной системе связей  $\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$  с формированием продукта азогетероциклизации. Предпочтительность первичной нуклеофильной атаки определена при помощи индексов Фукуи, рассчитанных методом [B3LYP/6-31G(2p)].

### Введение

Химия диеноновых производных циклогексана, представителем которых является и 2,6-бис(4-гидрокси-3-метоксибензилиден) циклогексанон (циквалон), к настоящему времени достаточно хорошо изучена [1]. Циквалон является лекарственным препаратом желчегонного и противовоспалительного действия [2-4]. Известны многочисленные способы его синтеза, в том числе и промышленные, но сравнительно меньше описаны реакции.

С целью формирования гибридных систем, включающих различные фармакофорные группы, нами осуществлена модификация циквалона под действием полинуклеофильных азотсодержащих реагентов гидразинового (4-NPH, 2,4-NPH и 4-АТА) и гуанидинового (3-АТА) типа.

### Обсуждение результатов

Известно, что реакции диеноновых производных циклогексана с фенилгидразином приводят к формированию продуктов азогетероциклизации как результат присоединения по сопряженной системе связей  $-\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$  [1,5]. Нами установлено, что при взаимодействии циквалона с нуклеофилами, содержащие гидразиновый фрагмент (4-NPH, 2,4-NPH и 4-АТА), образуются продукты избирательного нуклеофильного замещения карбонильной группы – гидразоны 1-3 (рис.1), способные к проявлению широкого спектра биологической активности [6].

В ИК-спектре гидразонов 1,2 (рис.2) появляются полосы валентных колебаний связи  $\text{C}=\text{N}$  ( $1632\text{ см}^{-1}$ ),  $\text{NH}$  ( $3412, 3418\text{ см}^{-1}$ ),  $\text{NO}_2$  сим. ( $1348\text{ см}^{-1}$ ) и  $\text{NO}_2$  асим. ( $1513, 1525\text{ см}^{-1}$ ) при сохранении валентных колебаний связей  $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$  и  $\text{CH}_2$  алиф. В спектре гидразона 3 присутствуют полосы валентных колебаний триазольного фрагмента ( $1615, 1512\text{ см}^{-1}$ ).

Наличие полос внеплоскостных деформационных колебаний связи  $-\text{C}=\text{CH}$  ( $1033\text{ см}^{-1}$ ) свидетельствует о E, E-конфигурации гидразонов, аналогично конфигурации исходного халкона.

ЯМР  $^1\text{H}$  спектр продуктов 1,2 (рис.3) содержит сигналы NH (с., 10.25 м.д.) и винильных протонов (с., 7,14 м.д.), при отсутствии сигнала протона  $\text{H}^3$ , характерного для продуктов гетероциклизации.

Конденсация циквалона с 3-АТА прошла по иному пути с участием сопряженной системы связей  $\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$  субстрата, что привело к образованию триазоло [5,1-b] хиназолина 4 (рис.4).

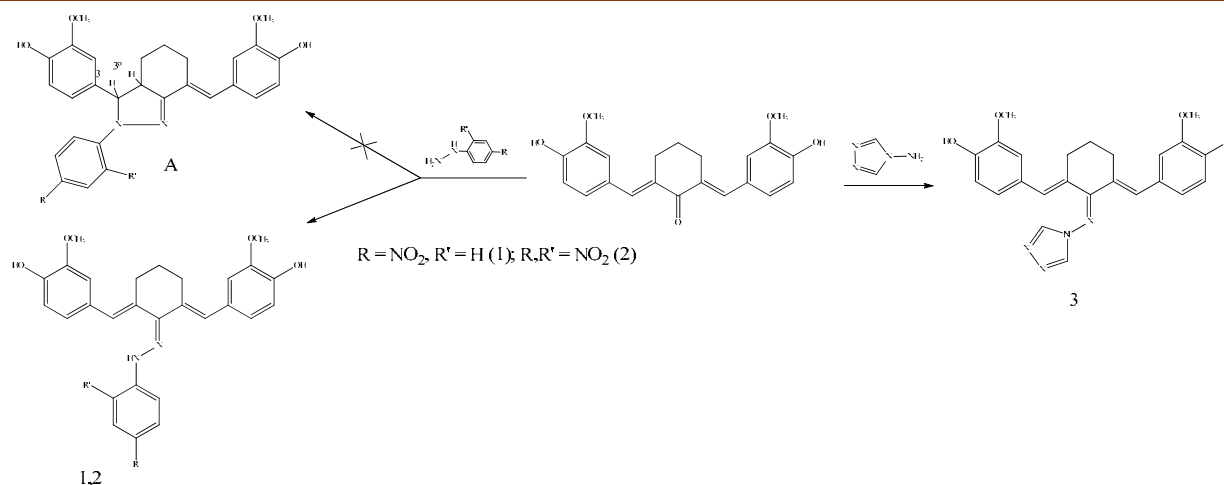


Рис. 1. Схема реакций циклолона с полинуклеофилами гидразинового типа.

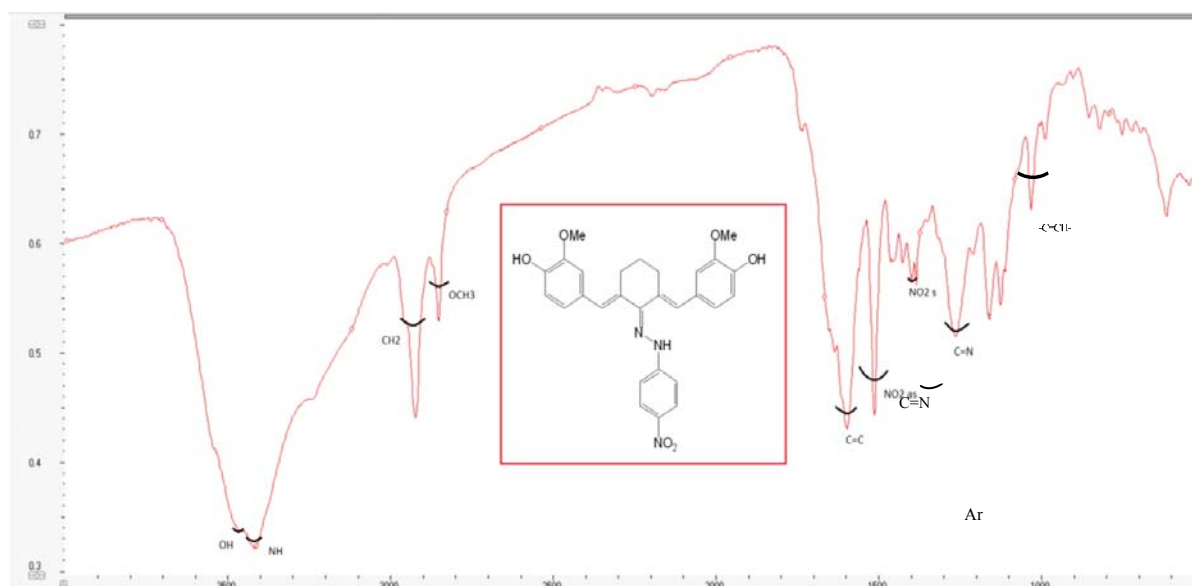


Рис. 2. ИК-спектр 2,6-ди-(4-гидрокси-3-метоксibenзилиден)циклогексанон-4-нитрофенилгидразона (1), ( $\nu$ , см-1).

В ЯМР  $^1\text{H}$  спектре (рис.5) ключевыми являются сигналы протонов  $\text{H}^9$  (с., 5,75 м.д.),  $\text{H}^2$  (с. 8,26 м.д.) и  $\text{NH}$  (с., 8,32 м.д.).

В спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  выделены сигналы атомов углерода  $\text{C}^9$  (63,68 м.д.) и  $\text{C}^2$  (132,70 м.д.).

В двумерном спектре HSQC  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  (рис.6) отмечены корреляции метинового протона  $\text{H}^9$  с  $\text{sp}^3$  гибридным атомом углерода  $\text{C}^9$  (5,75/63,68 м.д./м.д.), протона триазольного цикла  $\text{H}^2$  с атомом углерода  $\text{C}^2$  (8,26/132,71 м.д./м.д.), а также винильного протона с  $\text{sp}^2$ -гибридным атомом углерода (7,15/123,49 м.д./м.д.).

В НМВС  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  спектре (рис.7) корреляции протона  $\text{H}^9$  с атомом углерода триазольного цикла  $\text{C}^2$  (5,75/132,70 м.д./м.д.) и протона  $\text{NH}$  с атомом углерода  $\text{C}^{3a}$  (8,32/154,20 м.д./м.д.) подтверждают образование продукта гетероциклизации.

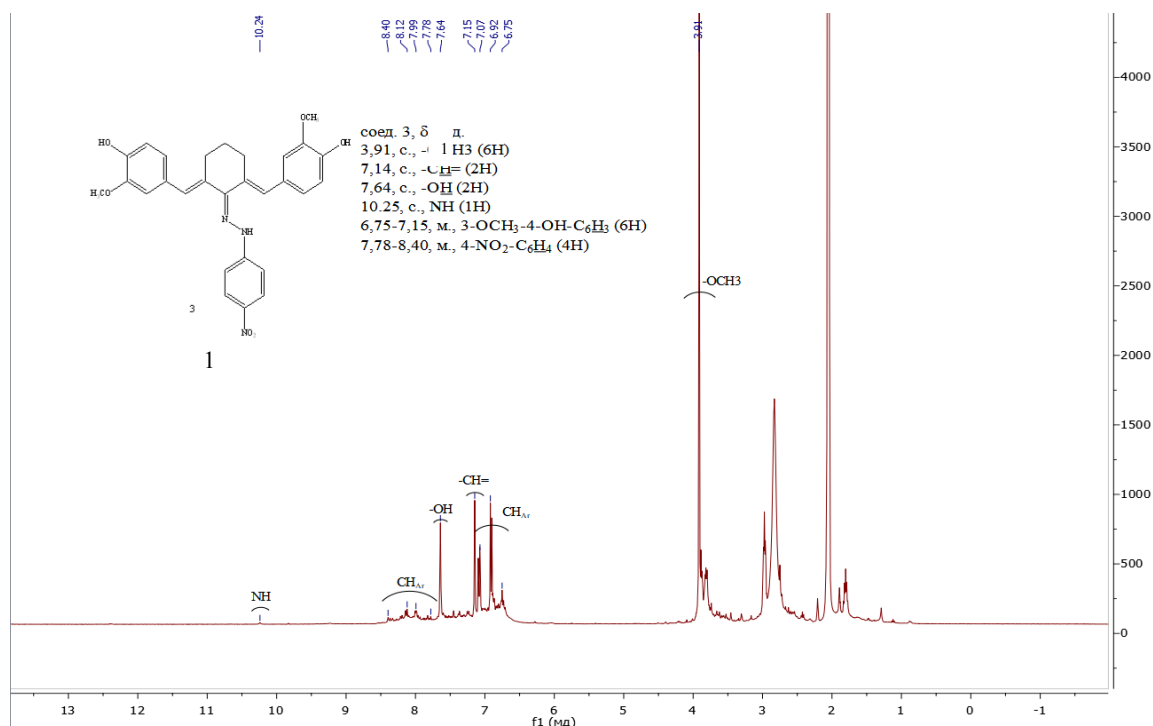


Рис. 3. ЯМР  $^1\text{H}$  спектр 2,6-ди-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)циклогексан-4-нитрофенилгидразона (1) ( $\text{C}_3\text{D}_6\text{O}$ ,  $\delta$ , м.д.)

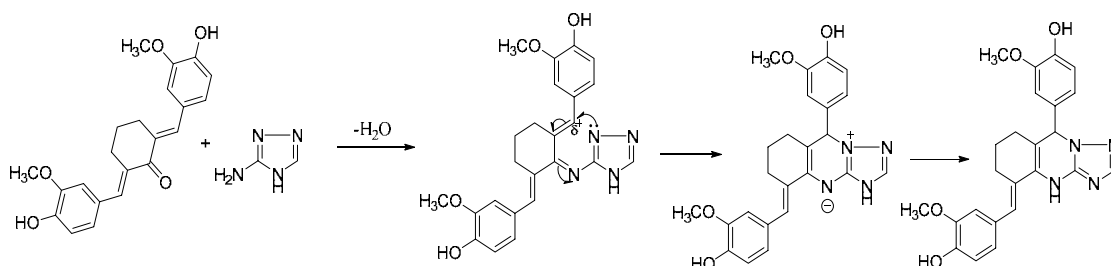


Рис. 4. Схема образования триазоло[5,1-*b*]хиназолина 4.

С целью определения наиболее электрофильного реакционного центра субстрата, нами, с помощью метода [B3LYP/6-31G(2p)], по схеме анализа заселенностей по Малликену были рассчитаны конденсированные на атомах индексы Фукуи. Установлено, что в сравнении с  $\beta$ -атомом углерода ( $f^+ = 0,060$ ) сопряженной системы  $\text{C}^\beta=\text{C}-\text{C}=\text{O}$  циквалона, карбонильный атом углерода ( $f^+ = 0,076$ ) является наиболее электронодефицитным, что определяет предпочтительность нуклеофильных атак.

## Заключение

Анализ спектральных и расчетных данных позволил предположить вероятные схемы превращений. Во всех рассматриваемых случаях первоначально образуются гидразоны – продукты нуклеофильного замещения оксо-группы субстрата. Реакция останавливается на этой стадии из-за низкой нуклеофильности NH-групп гидразонов 1,2 (наличие электроноакцепторных заместителей) или неблагоприятного для азоциклизации расположения реакционных центров в гидразоне 3.

Оба этих фактора (электронный и стерический) не препятствуют формированию триазолохиназолина 4.

Все вновь полученные соединения проявили умеренную противомикробную активность в отношении *S.aeu* и *E.coli* (ИБФРМ РАН).

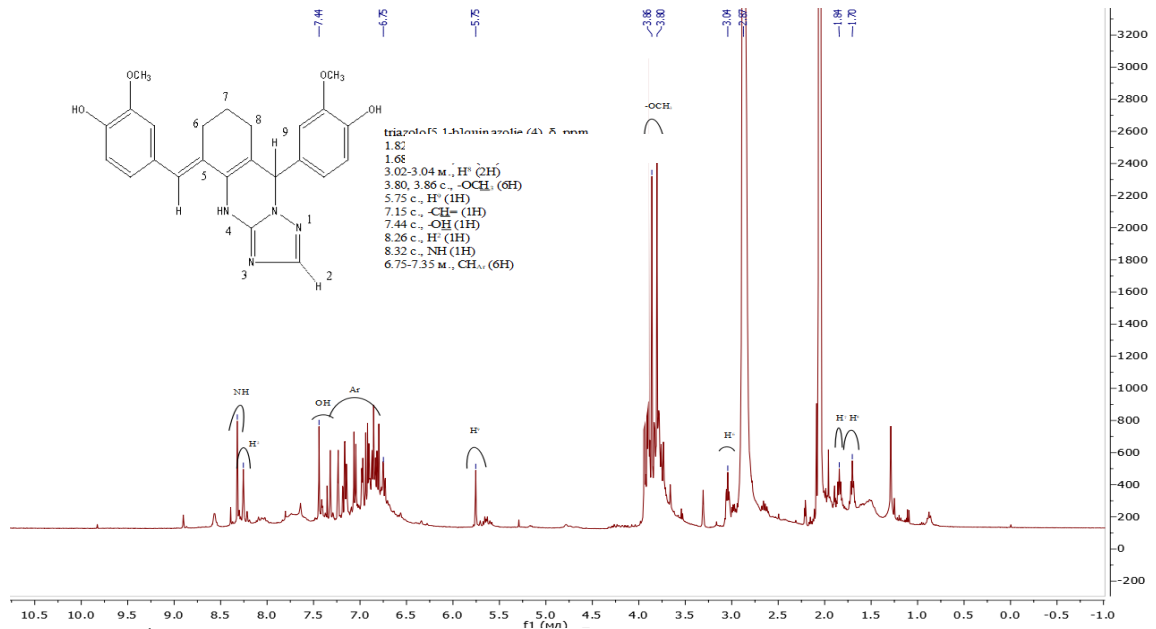


Рис. 5. ЯМР <sup>1</sup>H спектр 4-(5-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)[1,2,4]триазоло[5,1-б]хиназолин-9-ил)-2-метоксифенола (4) (C<sub>3</sub>D<sub>6</sub>O, δ, м.д.).

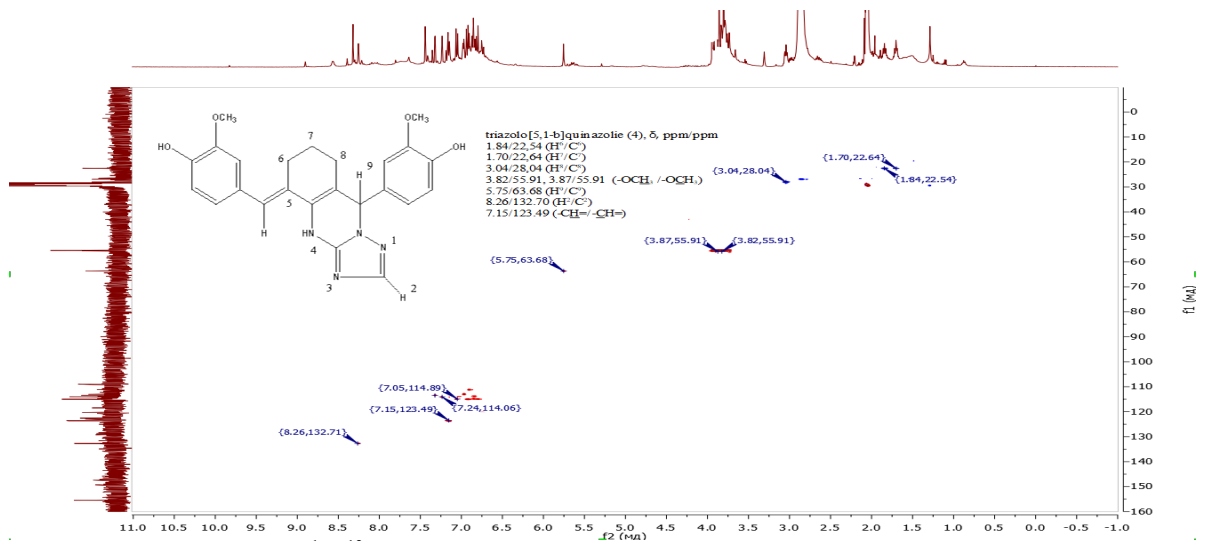


Рис. 6. ЯМР HSQC <sup>1</sup>H/<sup>13</sup>C спектр 4-(5-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4,4a,5,6,7,8,8a,9-октагидро[1,2,4]триазоло[5,1-б]хиназолин-9-ил)-2-метоксифенола (4) (C<sub>3</sub>D<sub>6</sub>O, δ, м.д.).

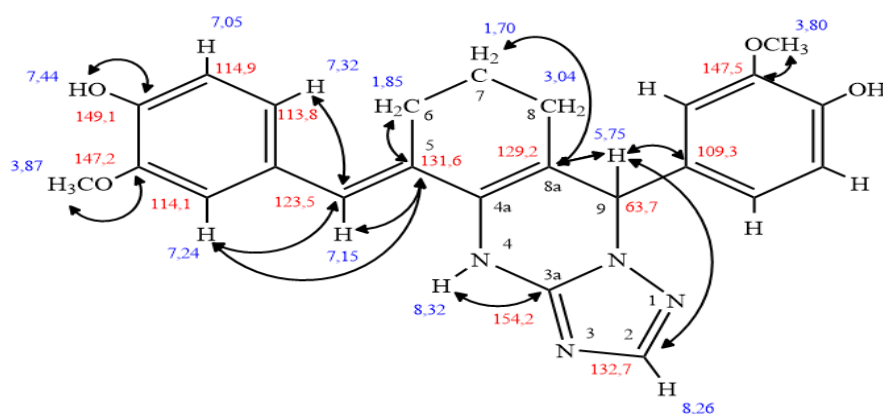


Рис. 7. Корреляции сигналов в спектре НМВС  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  4-(5-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4,4а,5,6,7,8,8а,9-октагидро[1,2,4]триазоло[5,1-б]хиназолин-9-ил)-2-метоксифенола (4) ( $\text{C}_3\text{D}_6\text{O}$ ,  $\delta$ , м.д.)

### Список литературы

1. Вацадзе С. З., Голиков А. Г., Кривенько А. П. и др. // Успехи химии. 2007. Т. 77(8). С. 707-727
2. Du Z, Liu R, Shao W, Mao X. // European journal of medicinal chemistry. 2006. 41(2). P. 213-218.
3. М. А. Симонян, Х. Диб, А. Н. Пашков, А. В. Симонян // Хим. Фарм. Журнал. 2007. 41(8). С. 7-10.
4. Alam, M., Verma G., Shaquiquzzaman M. et al. // J. of Pharmacy and Bioallied Sciences. 2014. Vol. 6(2). P.69.
5. Гулай Т. В., Матвеева А. А., Голиков А. Г. и др. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12(1). С. 3-5.
6. Alam M., Verma G., Shaquiquzzaman M. et al. // Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences. 2014. Vol. 6(2). P.69-80.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОНФОРМЕРОВ 2',3'-, 5',6'-, 2',3'- ДИГИДРОКСИФЛАВОНОВ

Е.В. Рыжова, Т.Ю. Суринская, В.Ф. Пулин, П.М. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, О.В. Пулин  
 Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов  
 DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-51-56

Представлены расчёты колебательных спектров и их сравнение с экспериментом и геометрической структуры.

### Введение

Интерес к дигидроксифлавонам становится понятным, если принять во внимание их ингибиторную активность в отношении ферментов вируса, в частности SARS-CoV-2. Например, максимальную ингибиторную активность в отношении протеазы 3CLpro вируса SARS-CoV-2. проявил байкалин (5,6-дигидроксифлавоны) [1]

Целью данной публикации является построение структурно-динамических моделей возможных конформеров 2',3'-, 5',6'-, 2',3'- дигидроксифлавонов (Рис.1) в рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP [1].

Проведенные модельные квантовые расчеты колебательных состояний следует рассматривать как предсказательные, достоверность которых обосновывается результатами моделирования структуры и спектров 3',4'-дигидроксифлавона [2], закономерностями в поведении фундаментальных частот колебаний для бензольного [3] и конденсированного фрагментов [4, 5].

### Результаты модельных расчетов и их обсуждение

Оптимизация исходной геометрии исследуемых ДГФ в предположении их плоской структуры (симметрия  $C_s$ ) привела к наличию отрицательных значений частот колебаний. Понижение симметрии соединений до группы  $C_1$  нарушением



компланарности гидроксильного фрагмента позволило этот факт устранить. В таблице 1 приведены значения соответствующих двухгранных углов между конденсированным, бензольным и гидроксильными фрагментами, а также расчетные значения тех валентных углов, для которых отклонение от стандартного значения ( $120^\circ$ ) составляет величину  $\sim 3^\circ$ . В интервале  $107-110^\circ$  располагаются расчетные значения валентных углов гидроксильных фрагментов ( $A_{\text{COH}}$ ).

Нарушение некомпланарности не сказывается на значениях длин валентных связей. Для них имеет следующие оценочные значения (в  $\text{Å}$ ):  $R_{\text{C=O}} = 1.36-1.38$ ;  $R_{\text{OH}} = 0.96-0.97$ ;

$R_{\text{C-O}} = 1.22-1.23$ ;  $R_{\text{C-C}} = 1.47-1.48$ ;  $R_{\text{CC}} = 1.39-1.41$ ;  $R_{1,2} = 1.37-1.38$ ;  $R_{1,6} = 1.37-1.38$ ;  $R_{2,3} = 1.36$ ;  $R_{3,4} = 1.45-1.46$ ;  $R_{4,5} = 1.48$ .

В K1 и K2 конформерах  $2',3'$ - и  $2',6'$ -ДГФ модельные расчеты для межатомного расстояния  $R(\text{O}_1, \text{H}_{28})$  дают следующие оценки  $1,86-1.87$  и  $1.84-1,92 \text{ Å}$  соответственно. Таким образом, есть основание предполагать наличие внутримолекулярной водородной связи.

Представляются интересными результаты расчета межатомного расстояния  $R(\text{H}_{17}, \text{H}_{29})$  для K2 и K3 конформеров. В  $5',6'$ -ДГФ указанное расстояние оценивается величиной

$\sim 2.05 \text{ Å}$ . В  $2',6'$ -ДГФ имеем значения  $2.08$  и  $2.30 \text{ Å}$  соответственно.

Интерпретация фундаментальных колебаний исследуемых таутомеров ( $2',3'$ -,  $5',6'$ - и  $2',6'$ -ДГФ) представлена в таблицах 2-4. Она осуществлена в рамках ангармонической модели молекулярных колебаний [6]:

$$\Delta v^n = \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2) \quad (1)$$

с выражения для ангармонических констант ( $\chi_{sr}$ ) \ из работы [7]:

$$\chi_{ss} = 1/16F_{ssss} - 5/48(F_{sss})^2/v_s + 1/32(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}) \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{ssrr} - 1/8(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{st})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;r;0) + \Omega(s;-r;0))/2 \quad (3)$$

Спектр фундаментальных колебаний бензольного фрагмента в конформерах исследуемых ДГФ условно можно разделить на две части. Первая (таблица 2) касается плоских валентных и неплюских (крутильных) колебаний колебаний ( $q_{\text{OH}}$  и  $\chi_{\text{OH}}$ ) гидроксильных групп. Смещение полос валентных колебаний на величину  $\sim 100 \text{ см}^{-1}$  в длинноволновую часть спектра для конформеров K1 и K2 в  $2',3'$ -,  $2',6'$ -ДГФ обусловлено наличием слабой внутримолекулярной водородной связи ( $R_{\text{O}_1, \text{H}_{28}}$ ).

Полосы, интерпретированных как крутильные колебания связей  $\text{OH}$  можно использовать в задачах спектральной идентификации исследуемых соединений и их конформеров. В спектральном диапазоне ниже  $600 \text{ см}^{-1}$  это наиболее интенсивные полосы в ИК спектре. Для конформера K4 в  $2',6'$ -ДГФ расчеты указывает на дублет ( $392$  и  $362 \text{ см}^{-1}$ ) с интенсивностями в ИК ( $78$  и  $68$ ) и КР ( $2.5$  и  $2.7$ ) спектрах соответственно.

Характерной особенностью модельных расчетов колебательных состояний дигидроксифлавонов является наличие значительного числа полос, щель между которыми близка к пороговому значению ( $\sim 10 \text{ см}^{-1}$ ) для численных методов технологии Gaussian [12]. В этом случае может иметь место перераспределению расчетных значений интенсивностей указанных полос. Особенно это касается диапазона  $1500-1000 \text{ см}^{-1}$ , куда попадают полосы, интерпретированные как деформационные колебания связей  $\text{CH}$  конденсированного( $\beta$ ) и бензольного ( $\beta\text{b}$ ) фрагментов, а также связей  $\text{OH}$  ( $\beta_{\text{OH}}$ ) гидроксильной группы. Подобная ситуация наблюдается, к примеру, в мономерах и димерах карбоновых кислот [8,9]

Для выявления признаков спектральной идентификации 2',3'-, 5',6'-, 2',3'- воспользуемся приемом, предложенным в публикациях [4,5]. В таблицах 3,4 полосы, энергетическая щель между которыми соответствует пороговому значению представлены как дублеты и триплеты с усредненным значением частоты колебания и с суммарной интенсивностью полос в спектрах ИК и КР. Однако, даже при таком подходе для значительной части полос значения энергетических щелей составляют величину  $\sim 20\text{см}^{-1}$ . Учитывая, что в предсказательных расчетах в различных атомных базисах могут иметь тот же порядок величины расхождения в положении полос, следует выработать критерий представления результатов модельных вычислений для решения задач спектральной идентификации конформеров и таутомеров исследуемого класса соединений. Разумным представляется подход, при котором энергетическая щель между усредненными положениями полос превосходит возможное их смещение в различных базисах. Он и использован при формировании таблиц 3 и 4. Отметим, что смещение полос в диапазоне ниже  $1600\text{ см}^{-1}$  при переходе от базиса 6-311G\*\* к базису 6-311+G\*\* составляет величину не более  $15\text{ см}^{-1}$ .

Как следует из данных, представленных в таблицах 3 и 4, полосы в диапазоне выше  $1500\text{ см}^{-1}$ , интерпретированные как валентные колебания связей шестичленных циклов (Q, $\beta$ ,Q $\beta$ , $\beta$ b) следует считать характеристическими по частоте, форме колебаний. Имеющееся различие в значениях интенсивностей полос использовать в задачах идентификации исследуемых таутомеров ДГФ и их конформеров затруднительно. Полностью характеристической (по частоте, форме и интенсивностям в спектрах ИК и КР) следует считать полосу  $1680\text{ см}^{-1}$ , интерпретированную как валентное колебание связи C=O (Q $_{C=O}$ ).

Для спектральной идентификации конформеров конкретного таутомера представляется возможным использование значений интенсивностей соседних усредненных полос в спектральном диапазоне  $1500-1000\text{ см}^{-1}$ . Их можно рассматривать как эффективные дублеты, разделенные щелью  $\sim 20\text{ см}^{-1}$ .

Использовать в задачах спектральной идентификации полосы в диапазоне ниже  $1000\text{ см}^{-1}$  затруднительно ввиду их незначительной интенсивности. Отдельные, наиболее интенсивные из них, приведены в таблицах 3 и 4. За подробностями в интерпретации указанного диапазона ДГФ отсылаем к публикациям [4,5].

## Заключение

Представленные результаты модельных расчетов геометрической структуры и колебательных спектров 2',3'-, 5',6'-, 2',6-дигидроксизамещенных флавона, их сопоставление с экспериментальными данными по структуре и спектрам конденсированного фрагмента флавона и 1,2,3- замещенных бензола дают основание утверждать, что проведенные в рамках метода функционала плотности теоретические оценки параметров адиабатического потенциала соединений являются достоверными. Показано, что наиболее надежными признаками спектральной идентификации конформеров исследуемых соединений являются полосы, интерпретированные как валентные и крутильные колебания гидроксильных фрагментов. Наличие барьера внутреннего вращения между сопряженным и бензольным фрагментами спектрально проявляется в смещении полос ( $\sim 30\text{ см}^{-1}$ ) неплоских деформационных колебаний как указанных молекулярных фрагментов, так и гидроксильных групп. Для конформеров K1 и K2, согласно расчетам, имеет место внутримолекулярное взаимодействие между атомом кислорода конденсированного фрагмента и атомом водорода соседней гидроксильной группой по типу водородной связи. Оценки ангармонического сдвига полос хорошо согласуются с результатами операции масштабирования расчетных значений частот колебаний, полученных в гармоническом приближении ( $\nu_s$ ).

Список литературы

1. Королева Л.М., Колтунова Е.В., Панов С.М., Судалина М.Н. Пандемия COVID-19 // Химия и экономика. Специальный выпуск: информационно-аналитический сборник / под редакцией д.э.н. М.Ф. Мизинцевой / ВИНТИ РАН. М., Изд-во ВИНТИ РАН, 2020. С. 38-84.
2. Элькин М.Д., Гайсина А.М., Джалмухамбетова Е.А. и др. // Естественные науки. 2013. № 1. С. 111-119.
3. Шагаутдинова И. Т. Взаимосвязь структуры и спектров флавоносодержащих соединений: Диссертация на соискание звания к. ф.- м. н. Саратов. 2016.
4. Элькин М.Д., Кондратенко Е.И., Джалмухамбетова Е.А. и др. // Естественные науки. 2011. № 3 (36). С. 66.
5. Элькин М.Д., Шигаутдинова И.Т., Смирнов В.В. и др. // Естественные науки. 2012. № 3 (40). С. 240-244.
6. Ноу А.Р., Mills I.M., Strey G. // J. Mol. Phys. 1972. Vol. 21. № 6. P. 1265-1290.
7. Элькин М.Д., Бабков Л.М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. 2011. Т. 11. Вып. 1. С.20-25.
8. Березин К. В., Новоселова А. В., Чернавина М. Л. И др. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2015. Т. 15. Вып. 4. С. 41–44.
9. Эрман Е.А., Элькин М.Д., Гречухина О.Н. и др. // Естественные науки. 2011. № 1 (34). С. 206-212.
10. Vavra A., Linder R., Kleinermanus K. // Chem. Phys. Letters. 2008. Vol. 463. P. 349-352.
11. Erdogan Y., Unsalan O., Gulluoglu M.T. // Turk J. Phys. 2009. Vol. 33. P. 249-259.
12. Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H.B. and ath. Gaussian 03, Revision B.03, Gaussian.Inc., Pittsburgh PA(2003)

Таблица 1.

Оптимизированные значения двугранных и валентных углов в конформерах 2',3', 5',6', 2',6' ДГФ

Углы	K1	K2	K3	K4	Углы	2',3'	5',6'	2',6'
D <sub>(11,12,22,28)</sub>	13	11	177	-	A <sub>(1,2,11)</sub>	113	110	112
D <sub>(12,13,23,29)</sub>	1	180	175	-	A <sub>(3,2,11)</sub>	128	127	125
D <sub>(1,2,11,12)</sub>	-27	-29	46	-	A <sub>(4,3,17)</sub>	116	119	118
D <sub>(14,15,25,28)</sub>	3	-179	178	-	A <sub>(3,4,5)</sub>	114	114	114
D <sub>(15,16,26,29)</sub>	-177	171	168	-	A <sub>(1,6,10)</sub>	116	116	116
D <sub>(1,2,11,12)</sub>	-13	-37	-36	-	A <sub>(11,12,22)</sub>	126	118	117
D <sub>(11,12,22,28)</sub>	13	16	-177	-178	A <sub>(13,12,22)</sub>	113	119	121
D <sub>(15,16,26,29)</sub>	2	172	179	1	A <sub>(16,15,25)</sub>	119	114	120
D <sub>(1,2,11,12)</sub>	-33	-40	-56	-57	A <sub>(14,15,25)</sub>	119	124	121

Таблица 2.

Интерпретация колебаний гидроксильных фрагментов в конформерах ДГФ

Форма колеб	0;0			0;180			180;180		
	v <sub>анг</sub>	ИК	КР	v <sub>анг</sub>	ИК	КР	v <sub>анг</sub>	ИК	КР
<b>2',3'- дигидроксифлавон</b>									
q <sub>OH28</sub>	3620	346	158	3632	299	142	3644	128	78
q <sub>OH29</sub>	3644	74	47	3698	77	187	3715	102	175
χ <sub>OH28</sub>	498	22	22	511	77	4.8	446	64	1.6
χ <sub>OH29</sub>	444	163	2,3	341	54	3.8	193	137	6.6
<b>5',6'- дигидроксифлавон</b>									
q <sub>OH28</sub>	3718	111	182	3698	79	186	3648	83	55
q <sub>OH29</sub>	3632	161	95	3630	127	106	3631	146	123
χ <sub>OH28</sub>	187	142	6.8	313	71	2,9	447	47	2,2
χ <sub>OH29</sub>	465	69	1.7	458	47	2,1	381	128	5,9
<b>2',6'- дигидроксифлавон</b>									
q <sub>OH28</sub>	3616	337	133	3632	73	70	3698	72	119
q <sub>OH29</sub>	3694	75	140	3648	282	152	3613	155	112
χ <sub>OH28</sub>	510	30	2.9	467	128	1.6	322	71	3.1
χ <sub>OH29</sub>	363	63	2.6	453	16	2.2	475	65	0.9

Примечание. Частоты колебаний в см<sup>-1</sup>, интенсивности в спектрах ИК в км/моль, в спектрах КР в Å<sup>4</sup>/а.е.м.

Таблица 3.

Интерпретация колебаний циклических фрагментов в конформерах 2',6'- ДГФ

Форма колебаний	V <sub>эсп</sub> [10,11]	V <sub>анг</sub>	К1		К2		К3		К4	
			ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
Q <sub>C=O</sub> ,β,γ	1646	1681	405	192	375	176	397	131	434	139
Q,β,Qb,βb**	1606	1612	454	952	480	661	379	454	328	573
Qb,βb,Q,β*	1586	1576	137	189	188	213	112	141	55	61
βb,β <sub>ОН</sub>	1505	1488	8	74	107	56	5	13	1	20
β,βb**	1460	1460	329	24	151	43	285	49	256	14
β <sub>ОН</sub> , βb	1387	1356	9	18	99	11	284	51	355	23
Q,β,β <sub>ОН</sub> ,Qb	1331	1338	259	18	291	30	81	11	145	8
Q,βб,q <sub>CO</sub> ,β*	1322	1323	85	123	82	231	48	102	43	61
βb,β,Qb	1278	1290	20	3	50	5	24	4	57	13
β,β <sub>ОН</sub>	1267	1269	57	191	31	139	45	32	74	28
β,β <sub>ОН</sub> *	1239	1238	149	145	20	42	92	86	41	83
Q,β	1210	1204	69	20	52	16	40	51	28	50
βb,β <sub>ОН</sub>	1181	1193	57	59	45	101	26	3	13	11
βb,β <sub>ОН</sub>	1156	1177	33	7	202	1	174	20	19	7
βb	1145	1155	3	15	68	8	15	9	0	11
β	1128	1118	45	15	52	16	46	11	40	10
β,βb *	1090	1076	8	46	6	48	30	30	6	28
β	1031	1029	31	25	25	23	27	15	37	16
βb,q <sub>CO</sub> ,γb *	1004	1005	118	11	48	13	87	18	188	17
ρ,χ	876	782	21	0.7	37	1.2	12	1.6	17	1.0
ρb,χb,ρ,χ*	769	764	80	2.6	61	2.7	73	2.3	51	12
ρb,χb	702	724	17	1.0	11	1.8	38	1.5	61	0.9

Таблица 4.

Интерпретация колебаний циклических фрагментов в конформерах 2',3' и 5',6'- ДГФ

Форма колебаний	V <sub>анг</sub>	0;0		0;180		180;180	
		ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
2',3'- ДГФ							
Q <sub>C=O</sub> ,β,γ	1679	433	224	434	220	431	169
Qb,βb,β,Q**	1612	215	1052	216	906	148	705
Qb,βb,β,Q*	1576	107	228	128	263	106	163
βb,β <sub>ОН</sub>	1488	11	40	101	2	28	22
βb,β**	1462	311	29	136	80	228	26
β <sub>ОН</sub> ,βb*	1362	215	62	245	36	418	82
β,γ*	1321	346	142	309	204	188	51
q <sub>CO</sub> ,Qb	1287	79	137	41	149	49	76
β,β <sub>ОН</sub> *	1252	186	148	153	64	82	35

$\beta, \beta b, q_{CO}^*$	1228	174	216	210	174	61	114
$\beta_{OH}, \beta$	1202	120	24	36	36	33	71
$\beta, \beta b^*$	1151	22	9	49	11	129	12
$\beta$	1121	62	20	39	15	30	12
$\beta, \beta b, Qb^{**}$	1066	31	82	46	64	114	42
$\rho, \chi$	878	63	9	41	1	64	1
$\rho, \chi, \rho b, \chi b^{**}$	786	107	2	106	2	102	1
5',6' - ДГФ							
$Q_{C=O}$	1679	435	242	415	183	413	187
$Q, Qb, \beta b, \beta^*$	1614	90	803	130	510	121	946
$Q, Qb, \beta b, \beta$	1592	95	413	71	204	90	196
$Q, \beta^*$	1564	55	385	57	189	64	207
$\beta b, \beta_{OH}$	1485	30	120	103	173	11	11
$\beta b, \beta^{**}$	1462	259	29	117	19	330	134
$\beta b, \beta_{OH}$	1368	36	15	295	114	5	65
$Q, \beta, \gamma$	1347	367	92	146	31	280	59
$\beta, \beta_{OH}, q_{CO}^*$	1322	162	45	70	35	207	32
$\beta, q_{CO}, \beta b^*$	1275	153	161	116	101	254	132
$Qb, \beta b, \gamma b$	1244	7	115	15	103	28	59
$\beta b, \beta, \beta_{OH}^{**}$	1216	131	247	164	102	246	107
$\beta b$	1176	1	3	365	8	26	19
$\beta, \beta_{OH}, \beta b^*$	1148	167	20	43	10	40	4
$\beta$	1121	39	22	39	21	58	26
$Qb, \beta b, \beta^*$	1078	20	56	11	38	13	40
$Q, \beta$	1057	7	11	16	10	48	21
$\rho, \rho b^*$	873	24	2.9	27	5.1	35	12
$\rho, \chi, \rho b, \chi b^*$	762	108	0.5	89	3.4	93	4.8

Примечание. Символами \* и \*\* помечены дублеты и триплеты.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРА ФЛАВОНА В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

Т.Ю. Сурина, Е.В. Рыжова, В.Ф. Пулин, П.М. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, О.В. Пулин  
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов  
DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-56-61

На основании модельных квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала и закономерностей в поведении частот фундаментальных колебаний сопряженных циклических молекул предложены структурно-динамические модели димеров флавона.

### Введение

Флаван ( $C_{15}O_2H_{10}$ ) является простейшим представителем (Рис. 1) группы природных фенольных соединений – флавоноидов, содержащихся в высших растениях. Группа насчитывает более 5000 молекул. Интерес к флавоноидам становится понятным, если принять во внимание существование гипотезы о роли высших растений в происхождении живой природы.

В периодической литературе построению структурно-динамических моделей данного класса сопряженных циклических соединений посвящено значительное количество публикаций. Сошлемся, для примера, лишь на те из них, где предпринята попытка интерпретации колебательных состояний самого флавона [1-3] на основании неэмпирических квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала для мономера соединения в рамках метода функционала плотности [4]. Модельные расчеты



ограничены гармоническим приближением теории молекулярных колебаний [5], а учет ангармонического смещения полос осуществлялся с помощью линейных схем процедуры масштабирования [6]. При этом теоретическая интерпретация колебания сводилась к сопоставлению имеющихся экспериментальных данных по спектрам ИК и КР с формально полученными в рамках модельных расчетов частотами гармонических колебаний.

Согласно проведенным расчетам, в диапазоне ниже  $1700 \text{ см}^{-1}$  присутствует значительное количество полос, энергетическая щель между которыми достигает величины  $\sim 10 \text{ см}^{-1}$ , что объясняется наличием в молекуле трех шестичленных циклов. Это тот порог, при котором, по умолчанию, в технологии «Gaussian» [4] следует учитывать ангармонические резонансы, приводящие к перепутыванию колебательных состояний и перераспределению интенсивностей резонирующих колебательных состояний. В этом случае результаты модельных расчетов могут зависеть от выбора атомного базиса, что снижает степень достоверности результатов исследования. Подробно этот факт рассмотрен, к примеру, в работе [7].

В данной работе дана теоретическая интерпретация колебательного спектра двух возможных димеров флавоны  $\text{C}_{15}\text{O}_2\text{H}_{10}$ . Она основана на результатах квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала молекул в рамках метода DFT/b3LYP и закономерностях в поведении частот фундаментальных колебаний монозамещенных бензола [5] и сопряженных полициклических соединений, отмеченных в статьях [8,9].

### Моделирование геометрической структуры флавоны

Оптимизации геометрических параметров мономера флавоны осуществлялась для различных конформационных моделей, отличающихся значением угла ( $0 \leq \chi \leq \pi/2$ ) между плоскостью бензольного фрагмента и плоскостью, в которой лежат сопряженные циклы. При этом частота соответствующего крутильного колебания принимала неотрицательное значение лишь для молекулярной конформации группы симметрии  $C_1$  ( $D_{(1,2,11,12)} = -20$ ;  $D_{(1,2,11,16)} = 160$ ).

Сравнение рассчитанных значений геометрических параметров (длин валентных связей и валентных углов), частот фундаментальных колебаний, интегральных интенсивностей полос в спектрах ИК и КР для указанной конформации  $C_1$  и плоской конформации типа симметрии  $C_s$  дает основание полагать, что в флавоны можно использовать приближение свободного внутреннего вращения [5] для бензольного и сопряженного циклических фрагментов относительно оси  $C_2-C_{11}$ , согласно которому взаимное расположение фрагментов не влияет на интерпретацию их фундаментальных колебаний. Отметим также, что к результатам оценки частот колебаний в рамках численных методов технологии «Gaussian» в диапазоне ниже  $100 \text{ см}^{-1}$  (куда и попадают указанные выше крутильные колебания) следует относиться критически. На этот факт было обращено внимание, к примеру, в публикациях [10,11].

Оптимизация геометрии в мономере флавоны дает следующие оценки. Длины связей шестичленных циклов попадают в интервалы:  $R_{(2,11)}, R_{(3,4)}, R_{(4,5)} = 1.46-1.48 \text{ \AA}$ ,  $R_{(1,2)}, R_{(1,6)}, R_{(2,3)} = 1.36-1.37 \text{ \AA}$ . Длины остальных связей  $R_{CC}$  циклических фрагментов попадают в интервал  $1.39-1.40 \text{ \AA}$ .  $R_{C=O} = 1.22 \text{ \AA}$ . За исключением валентных углов  $A_{(1,2,11)} = 112.0$ ,  $A_{(3,4,5)} = 113.8$  остальные углы отличаются от канонического значения в  $120^\circ$  на величину порядка  $\sim 3^\circ$ . Интересным представляется расчетное значение межатомного расстояния  $R_{(17,26)}$ . В модели симметрии  $C_s$  оно принимает значение  $2.08 \text{ \AA}$ , в модели  $C_1$  –  $2.19 \text{ \AA}$ .

Оптимизация геометрии димеров  $17-27'_{-}27-17'$  и  $18-27'_{-}27-18'$  (группа симметрии  $C_{2h}$ ) приводит, соответственно, к следующим оценкам длин межмолекулярных связей между атомами водорода и кислорода мономеров:  $2.31$  и  $2.34 \text{ \AA}$ . Образование димеров сказывается на третьем знаке мантиссы для длин валентных связей мономеров и на втором знаке мантиссы для значений валентных углов. Отметим только, что в димере  $17-$

27'\_27-17' между атомом водорода H<sub>26</sub> бензольного фрагмента одного мономера и атома кислорода O<sub>27</sub> второго мономера, межатомное расстояние оценивается величиной ~ 2.33 Å.

### Математическая модель молекулярных колебаний

Теоретическая оценка положения полос в колебательном спектре соединения осуществлялась с помощью известного соотношения [12]

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2) \quad (1)$$

Для ангармонических констант  $\chi_{sr}$  использовались выражения из публикации [7]:

$$\chi_{ss} = 1/16F_{sss} - 5/48(F_{sss})^2/\nu_s + 1/32(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}) \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{ssr} - 1/8(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{st})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;r;0) + \Omega(s;-r;0))/2 \quad (3)$$

Модельные расчеты колебательных состояний флавона и его димеров осуществленные в базисах 6-311G\*, 6-311G\*\*, 6-311G\*\*. Выбор атомного базиса не влияет на результаты теоретической интерпретации колебательного спектра соединения. Расхождение в оценке положения полос ~ 20 см<sup>-1</sup> имеет место лишь для ряда неплоских колебаний соединения и для валентного колебания связи С=О. Однако указанные неплоские колебания имеют низкую интенсивность в ИК и КР спектрах и не представляют интерес для спектральной идентификации. Что касается расчетных значений частот валентных колебаний связей С=О, то они отделены от близких по положению в спектре полос, интерпретированных как колебания связей шестичленных циклических фрагментов щелью ~ 50 см<sup>-1</sup>. Такая щель гарантирует достоверность расчетных значений интенсивностей полос в рамках технологии «Gaussian» [4].

Предлагаемая интерпретация фундаментальных колебаний флавона представлена в таблицах 1-3. Характеристики полос валентных колебаний связей СН (диапазон 3100-3050 см<sup>-1</sup>) выделены в таблицу 3, где теоретический интерес представляет характер поведения полос, интерпретированных как валентные колебания связей C<sub>16</sub>H<sub>26</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>17</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>18</sub> (q26, q17, q18) при переходе от мономера к димеру соединения. Согласно данным таблицы 3, имеет место смещение полосы валентного колебания связи C<sub>3</sub>H<sub>17</sub> в димере 17-27'\_27-17' в коротковолновый диапазон на величину ~50 см<sup>-1</sup>, заметно изменяется интенсивность полосы в ИК спектре. Однако использовать этот факт затруднительно, поскольку энергетическая щель между соседними полосами менее того порогового значения (10 см<sup>-1</sup>), начиная с которого в технологии «Gaussian» [4], по умолчанию, принято учитывать ангармонические резонансы. В этом случае может иметь место перераспределение интенсивностей резонирующих колебательных состояний. К этому надо учесть сложный экспериментальный контур перекрывающихся полос спектра в диапазоне 3100-3500 см<sup>-1</sup>.

Весь набор колебаний, попадающий в интервал ниже 1700 см<sup>-1</sup>, можно условно разделить на две части. Первая часть относится к бензольному фрагменту, вторая к фрагменту из двух сопряженных шестичленных циклов типа. В таблицах 1 и 2 колебания бензольного фрагмента помечены звездочкой (столбец формы колебаний). В втором столбце представлены экспериментальные данные из публикации [3], в третьем столбце таблицы приведены данные теоретической интерпретации спектра фундаментальных колебаний нафталина и толуола из монографии [5].

Для ряда диапазонов имеет место смешивание форм нормальных колебаний. В первую очередь это относится к плоским колебаниям валентных связей (Q, Q\*) (диапазон 1630-1580 см<sup>-1</sup>) и неплоским деформационным колебаниям этих связей ( $\chi$ ,  $\chi^*$ ) шестичленных циклов. Отметим низкую интенсивность полос неплоских

деформационных колебаний связей СН ( $\rho, \rho^*$ ) в диапазоне 1000-900  $\text{см}^{-1}$ . Этот факт имеет место как в монозамещенных бензола так и в нафталинах.

Общая закономерность – слабая интенсивность полос в спектрах ИК в диапазоне ниже 650  $\text{см}^{-1}$ , куда попадают деформационные колебания флавона. Для идентификации димеров следует использовать значения интенсивностей полос в диапазоне 1460-900  $\text{см}^{-1}$ , учитывая при этом суммарную интенсивность полос, разделенных щелью менее 10  $\text{см}^{-1}$ .

Как и следовало ожидать, наиболее интенсивной в спектрах ИК и КР является полоса, интерпретированная как валентное колебание связи C=O ( $Q_{C=O}$ ).

## Заключение

Проведенные модельные расчеты геометрической структуры и колебательных состояний флавона позволяют сделать вывод, что для интерпретации колебательного спектра соединений группы флавоноидов можно использовать метод функционала плотности DFT/b3LYP и те закономерности в характере поведения полос, что имеют место для сопряженных шестичленных циклов и замещенных бензола.

## Список литературы

1. Skoko S., Ambrosetti M., Giovannini T. Et al. // *Molecules*. 2020. Vol. 25(24). P. 5853.
2. Шагаутдинова И. Т. Взаимосвязь структуры и спектров флавоноидосодержащих соединений. Диссертация на соискание степени к.ф.-м.н., Саратов. 2016.
3. Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H.B. and ath. Gaussian 03, Revision B.03, Gaussian.Inc., Pittsburgh PA(2003).
4. Свердлов Л.М., Ковнер М.А., Крайнов Е.П. Колебательные спектры многоатомных молекул. М.: Наука, 1970. 560 с.
5. Березин К.В., Новоселова А. В., Чернавина М. Л. И др. // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика*. 2015. Т. 15. Вып. 4. С. 41-44.
6. Бабков Л.М., Москвитин М.Д., Давыдова Н.А. и др. Построение структурно-динамической ангармонической модели и интерпретация ИК спектра 2-бензилфенола // *Квантово-химические расчеты: Структура и реакционная способность органических и неорганических молекул: конференция*. Иваново, 2325 марта 2022 года.
7. Элькин М.Д., Джалмухамбетова Е.А., Шальнова Т.А. // *Естественные науки*. 2011. № 1 (34). С. 193-199.
8. Элькин М.Д., Степанович Е.Ю., Костерина Э.К. // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2010. № 1 (9). С.49-54.
9. Элькин М.Д., Эрман Е.А., Пулин В.Ф. // *Журн. приклад. спектр*. 2008. Т. 74. № 5. С. 565-568.
10. Элькин М.Д., Колесникова О.В., Гречухина О.Н. // *Вестник Саратов. гос. техн. ун-та*. 2008. № 2 (32). Вып. 2. С.105-112.
11. Hoy A.R., Mills I.M., Strey G. // *J. Mol. Phys*. 1972. 21. № 6. P. 1265-1290

Таблица 1.  
Интерпретация плоских колебаний флавона

Форма колеб.	$\nu_{\text{экс}}$ [3]	$\nu_{\text{экс}}$ [5]	Мономер			Димеры					
			$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	17-27' _27-17'			18-27' _27-18'		
						$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
$Q_{C=O}$	1646	1710	1678	439	211	1640	1421	846	1662	945	1360
$Q, \beta$	1634	1624	1614	91	498	1613	246	795	1614	906	293
$Q^*, \beta^*$	1621	1605	1604	58	207	1602	53	780	1603	256	17
$Q, \beta^*, \beta$	1606	1592	1603	2.2	482	1601	100	610	1601	2090	84
$Q^*, \beta^*, \beta$	1570	1597	1577	4.1	8.6	1577	11	16	1577	26	20
$Q, \beta, \gamma$	1569	1586	1566	42	224	1565	151	545	1565	841	75
$\beta^*, Q^*$	1495	1504	1488	16	29	1492	47	28	1490	91	46
$\beta, Q$		1460	1464	1.4	14	1465	17	35	1467	68	4.7
$\beta, Q$	1466	1438	1457	107	5.3	1458	212	16	1452	49	251
$\beta^*$	1449	1439	1443	23	22	1444	60	45	1443	73	51
$Q^*, \gamma$	1376	1387	1352	354	122	1358	609	112	1355	334	663
$\beta^*, Q^*$	1334	1331	1325	4.2	10	1335	0.5	34	1326	8.2	3.6
$Q, \beta$	1322	1361	1322	17	21	1328	10	157	1322	64	57
$Q^*, \beta^*$	-	1278	1298	53	0.8	1308	143	56	1299	3.6	108
$\beta, Q$	-	1267	1275	5.3	59	1289	9.4	99	1276	126	12
$\beta, Q$	1266	1239	1241	19	159	1264	102	642	1244	592	48

ПРОБЛЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И БИОФОТОНИКИ

Q <sub>c-c</sub>	1226	1218	1223	3.0	94	1225	5.5	230	1222	338	2.3
β,Q	1195	1210	1207	36	85	1212	68	188	1204	173	68
β*	1191	1181	1180	12	38	1189	16	76	1183	97	36
β*	1162	1156	1158	0.1	8.8	1158	2.6	21	1158	19	0.4
β,Q	1143	1145	1146	0.1	2.6	1146	0.3	7.0	1148	17	15
β,Q	1129	1128	1119	40	6.7	1126	69	18	1121	12	104
β*,Q*	1101	1090	1083	5.2	1.1	1090	0.6	10	1090	9.3	2.1
β	1079	-	1082	4.6	10	1088	12	5.8	1083	8.4	24
Q,β	1044	-	1038	13	20	1042	52	45	1040	47	19
Q*,β	1029	1031	1026	16	0.9	1028	36	6.1	1029	3.1	26
Q,β	1011	1025	1008	8.7	34	1010	29	63	1011	83	11
γ*	1000	1004	991	2.3	74	991	6.7	213	993	213	4.3
γ	904	-	899	18	6.0	900	91	20	901	10	54
γ	838	-	842	11	4.4	845	17	4.1	840	25	44
γ	756	758	738	4.8	7.8	742	14	16	741	32	25
γ*	675	-	672	3.5	11	672	9.0	42	671	42	3.6
γ*	616	623	620	0.2	6.4	620	2.8	18	621	12	0.5
β <sub>c=0</sub> ,β <sub>c</sub>	600	-	600	14	0.9	604	41	2.0	603	4.0	35
γ	577	-	576	0.8	11	578	0.5	24	576	21	0.9
γ	509	512	503	1.7	8.6	507	1.9	34	502	15	7.7
γ	500	506	492	2.7	6.9	496	22	8.6	493	20	5.5
β <sub>c=0</sub> ,β <sub>c</sub>	345	346	339	5.5	1.3	348	13	2.2	346	3.0	21
γ <sub>cc</sub>	-	-	289	2.9	1.3	292	16	6.8	289	5.8	5.8
β <sub>c=0</sub> ,β <sub>c</sub>	267	-	260	1.4	2.0	267	7.5	4.7	264	4.9	2.3

**Примечание.** Частоты колебаний в см<sup>-1</sup>, интенсивности в спектрах ИК в км/моль, в спектрах КР в Å<sup>4</sup>/а.е.м. Символом \* помечены отнесение колебаний по форме к бензольному фрагменту.

Таблица 2.  
Интерпретация неплоских колебаний флавона

Форма колеб.	ν <sub>экс</sub> [3]	ν <sub>экс</sub> [5]	Мономер			Димеры					
			ν <sub>анг</sub>	ИК	КР	17-27'_27-17'			18-27'_27-18'		
						ν <sub>анг</sub>	ИК	КР	ν <sub>анг</sub>	ИК	КР
ρ*	993	993	987	0.1	0.6	990	0.8	0.7	989	0.3	0.0
ρ	-	970	984	0.1	0.1	979	0.0	0.0	986	0.1	1.5
ρ	970	970	964	0.3	0.6	971	0.8	0.5	962	0.9	0.1
ρ*	952	-	958	0.9	0.2	954	1.6	0.2	958	0.6	0.2
ρ*	929	895	921	1.5	0.8	930	9.0	0.7	919	3.9	1.6
ρ	868	876	871	10	2.1	897	41	5.6	870	3.5	2.9
ρ	850	846	857	14	0.8	862	0.2	0.9	849	38	3.9
ρ*	842	842	835	1.8	2.8	840	1.5	2.1	829	8.0	2.4
	-	782	779	3.4	0.8	777	0.9	1.0	776	0.3	2.6
ρ,ρ*,χ,χ*	769	-	770	58	1.6	773	88	1.0	768	195	0.3
χ	756	-	759	42	0.4	755	97	0.6	756	4.0	0.8
χ*,ρ*	702	702	691	33	1.3	691	58	1.6	688	52	1.4
χ,ρ <sub>c=0</sub>	687	-	671	13	5.2	669	38	2.7	665	30	2.6
χ,χ*	652	-	650	3.0	3.1	649	4.1	5.9	647	9.7	6.0
χ	529	-	527	5.0	0.4	527	10	0.5	522	9.7	0.7
χ*,χ	463	463	460	3.4	0.5	461	5.0	0.5	461	5.3	0.5
χ	449	461	428	0.2	0.3	425	0.3	0.4	426	0.1	0.4
χ*	414	414	403	0.1	1.5	402	0.1	0.2	400	0.1	0.3
χ,χ*	264	-	277	0.2	1.2	279	0.1	0.9	279	0.0	0.8
χ,χ*	217	217	199	1.4	6.1	194	2.7	10	190	2.1	13
χ	144	176	154	0.4	2.2	154	1.0	1.9	147	0.4	2.1
χ	123	-	120	2.3	2.8	129	2.1	7.2	114	4.4	6.0

Интерпретация полос валентных колебаний связей СН в димерах флавона

Форма колебан.	V <sub>экс</sub> [3]	V <sub>экс</sub> [2,5]	Мономер			Димеры					
						17-27' _27-17'			18-27' _27-18'		
			v <sub>анг</sub>	ИК	КР	v <sub>анг</sub>	ИК	КР	v <sub>анг</sub>	ИК	КР
q17	-	3100	3124	3.8	96	3073	19	347	3120	5.7	169
q22	-	-	3116	4.4	61	3111	10	177	3113	5.7	124
q18,19	-	-	3101	13	219	3102	179	815	3105	126	1142
q21,20,18	3092	3095	3096	10	115	3098	26	440	3096	13	217
q26,25	-	-	3095	8.6	73	3095	8.9	109	3094	16	247
q24,26	3067	-	3086	34	205	3085	82	365	3088	46	212
q19,20	3060	-	3084	18	155	3082	25	343	3085	59	506
q23,25	3054	-	3074	13	141	3078	120	405	3074	21	310
q20,19	3031	3024	3070	3.8	73	3069	6.3	159	3070	17	190
q23,24,25	-	-	3065	0.6	54	3062	0.8	148	3065	1.3	107

## МЕТОДОЛОГИЯ И ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

## НЕОБРАТИМОСТЬ ВРЕМЕНИ В КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

В. И. Цой

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
 DOI:10.24412/el-37145-2023-1-62-64

Известно, что динамические уравнения физики остаются справедливыми при совместной инверсии времени и импульсов. Этот факт обычно трактуют как обратимость времени в динамических уравнениях. Однако, кроме инверсии времени и импульса при обращении движения по физическим состояниям, уравнения движения как классической, так и квантовой механики требуют также изменения знака массы. Это требование недопустимо, что указывает на необратимость времени в динамических уравнениях.

**Введение**

Принято считать, что в динамике волн и частиц нет запрета на обратное течение времени, «Уравнения механики инвариантны по отношению к перемене знака времени, т.е. по отношению к замене будущего прошедшим. Другими словами, в механике оба направления времени эквивалентны. Это значит, что если согласно уравнениям механики возможно какое-нибудь движение, то возможно и обратное движение, при котором система проходит те же состояния в обратном порядке» [1, с.74]. «В динамике, будь то классическая, квантовая или релятивистская динамика, время выступает лишь как внешний параметр, не имеющий выделенного направления. В динамике нет ничего такого, что позволяло бы отличать прошлое от будущего» [2, с. 217]. В динамике волн в терминах инверсия времени могут быть объяснены решения с опережающими потенциалами [3, с.180], обращение волнового фронта [4, с. 8], обратные эффекты Доплера и Вавилова-Черенкова в левых средах [5]. Однако в данной работе приведена такая интерпретация динамики, в которой есть запрет на обратное течение времени.

**Необратимость времени в динамике частиц**

К выводу о неразличимости течения времени в будущее и прошлое при решении динамических уравнений можно прийти, например, рассматривая закон Ньютона для зависимости ускорения  $d^2q/dt^2$  от силы  $F$  и массы  $m$  в форме

$$d^2q/dt^2 = F/m, \quad (1)$$

которая инвариантна относительно замены течения времени ( $dt$ ) на обратное течение ( $-dt$ ). Однако надо учитывать, что состояние классической частицы определяется не только координатой  $q$ , но и импульсом  $p$  [6, с. 10], поэтому закон движения правильнее писать в форме

$$d^2q/dt^2 = (1/m)(dp/dt) \quad (2)$$

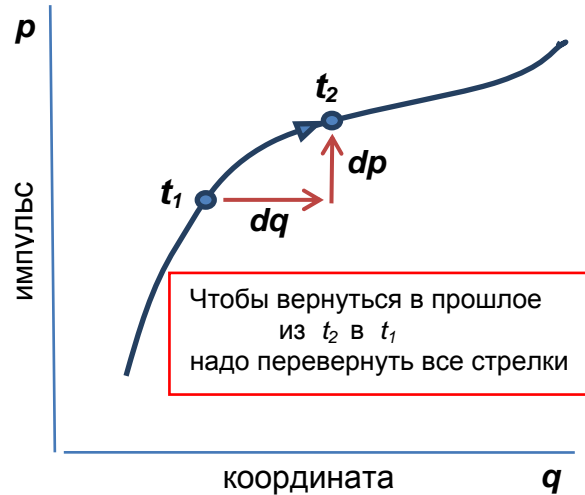
Как видно на фазовой диаграмме, чтобы вернуться по фазовой траектории из будущего  $t_2$  в прошлое  $t_1$ , нужно перемещаться обратными шагами по координате ( $-dq$ ) и по импульсу ( $-dp$ ). Закон Ньютона для движения в прошлое принимает вид

$$(d/(-dt))(-dq)/(-dt) = (1/m)((-dp)/(-dt)) \quad (3)$$

Отсюда ясно, что для обратного движения во времени масса частицы должна изменить знак, но это невозможно для классической частицы.



Следует заметить, что в случае потенциальной силы  $dp/dt = -\partial U/\partial q$  её зависимость от потенциала  $U(q)$  при движении в прошлое принимает вид  $(-dp)/(-dt) = -(-\partial U/(-\partial q))$ , т.е. потенциальная функция также должна изменить знак на противоположный.



Необходимость изменения знака массы при обращении времени обнаруживается также и в квантовой механике. Это прямо следует из уравнения Шредингера [7] для волновой функции  $\psi$  состояния квантовой частицы

$$\hbar \partial \psi / \partial t = -(1/2m) \nabla^2 \psi + U(r) \psi . \quad (4)$$

Видно, что уравнение Шредингера инвариантно относительно совместного изменения знаков на противоположные для времени  $t$ , массы  $m$  и потенциальной функции  $U(r)$ .

### Обратимость перемещений в реальном пространстве

В дополнение к вопросу об обратимости времени полезно коснуться вопроса об обратимости перемещений по пройденной траектории в реальном пространстве – «кинематической обратимости» (в отличие от «динамической обратимости» движения по состояниям – точкам траектории в фазовом пространстве).

Формально самый простой способ получить обратную траекторию перемещений состоит в том, чтобы уравнение (2) проинтегрировать в обратном направлении по времени. Однако в результате единственной замены  $dt \rightarrow (-dt)$  уравнение перестает быть законом движения реальной массы  $m$ . Чтобы уравнение осталось законом движения, необходимо дополнительно изменить знак массы  $m \rightarrow (-m)$  что абсурдно для классических частиц.

Внесем в уравнение Ньютона условие обратного движения по координате заменой приращения координаты на противоположное по знаку приращение:

$$(d/dt)((-dq)/dt) = (1/m)(dp/dt) . \quad (5)$$

Рассмотрим дополнительные реализуемые или нереализуемые условия, сохраняющие уравнение (5) как закон движения. Хорошо известно, что мгновенное изменение вектора импульса на противоположный вектор приводит к обратному движению по траектории в реальном пространстве в реальном времени [8]. В этом случае замена  $dp \rightarrow (-dp)$  в

уравнении (5) сохраняет его как закон движения в реальном времени. Однако движение происходит по другой фазовой траектории, с заменой  $p \rightarrow (-p)$  по сравнению с исходной. Но эти траектории симметричны, и такое движение рисует картину обратного движения по исходной фазовой траектории.

Другие условия включают в себя обращение течения времени с заменой  $dt \rightarrow (-dt)$ . Если кроме обращения течения времени добавить в уравнение (5) обращение приращения импульса  $dp \rightarrow (-dp)$ , а также изменение знака массы  $m \rightarrow (-m)$ , то это приведет к уравнению (3), то есть формально к закону обратного движения по рассматриваемой фазовой траектории, но движения нереальной частицы.

### Заключение

Приведенные доводы о запрете обратимости времени в уравнениях классической и квантовой механики показывают, что инверсия времени в динамических уравнениях физики должна рассматриваться лишь как весьма полезная операция, которая, однако, не имеет непосредственного отношения к реальному ходу времени только в одном направлении.

### Список литературы

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1988. 512 с.
2. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: КомКнига, 2006. 328 с.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: в 3 т., М.: Наука 1966. Т. 3. 632 с.
4. Зельдович Б. Я., Пилипецкий Н. Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. М.: Наука, 1985. 246 с.
5. Цой В. И. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2023. Т.23, вып.2. С.188–194. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2023-23-2-188-194>, EDN: CRSNYK
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. М.: Наука, 1988. 216 с.
7. Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
8. Давыдов Б. И. // УФН. 1957. Т. 61. С.17-22. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0061.195701c.0017>.

## НАУЧНОЕ И ПОЛИТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ VI СЪЕЗДА РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ

В. М. Аникин

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-64-66

В августе 1928 г. в СССР состоялся VI съезд Российской ассоциации физиков (РАФ) с широким участием зарубежных физиков. Съезд отличался квалифицированным составом. Прежде всего следует отметить тот факт, что в работе съезда приняли участие 6 будущих лауреатов Нобелевской премии: О. В. Ричардсон (премия 1929 г. за 1928 г. за исследование явления термоэмиссии и за открытие закона, носящего его имя), П. А. М. Дирак (1933 г., за разработки новых, перспективных форм атомной теории), П. Й. В. Дебай (1936 г. за развитие знаний о структуре молекул исследованиями дипольных моментов, а также о дифракции рентгеновских лучей и электронов в газах), М. Борн (1954 г., за фундаментальные работы в области квантовой механики и прежде всего за статистическую интерпретацию волновых функций), Н. Н. Семёнов (1956 г., за исследование механизма химических реакций), Л. Д. Ландау (1962 г., за пионерскую теорию конденсированных сред, прежде всего жидкого гелия). Есть основания предполагать, что в организации съезда принимал участие и лауреат Нобелевской премии 1958 г. И. М. Франк, тогдашний студент физического факультета МГУ. Из отечественных участников съезда до 30 человек стали в будущем членами Академии наук СССР.

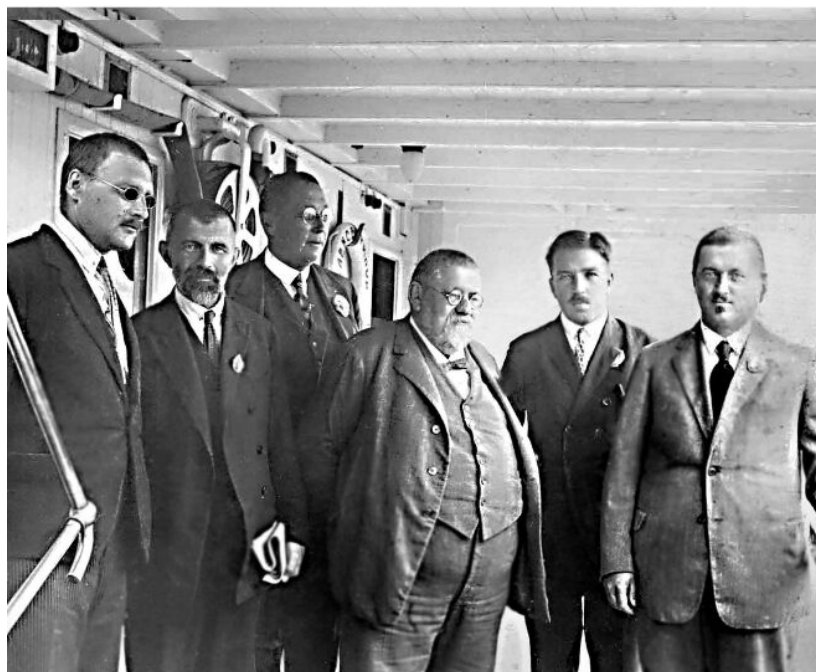
Научное мероприятие имело широкую государственную поддержку при реализации всех этапов, обеспечивающих успешную подготовку и проведение съезда

(финансовая поддержка, срочная печать материалов, создание организационных комитетов в местах проведения съезда, разнообразная культурная программа, широкое освещение хода съезда в центральной и местной печати и т.д.).

Наконец, съезд (и это стало особым привлекательным моментом для зарубежных физиков), проводился в необычном «нелинейном» передвижном формате: проведя пленарные заседания в Московском университете, съезд продолжил свою работу на пароходе «Алексей Рыков» и (по пути его следования от Н. Новгорода до Сталинграда) в волжских университетских городах – Нижнем Новгороде, Казани и Саратове. Научная мысль буквально «кипела» в каютах и на палубах парохода, где обсуждались самые злободневные вопросы. В городах участники съезда делали доклады, ориентируясь, в том числе, на состав пришедших в залы заседаний участников. Языковые трудности снимались комментариями председателем съезда А. Ф. Иоффе и с помощью студентов-переводчиков из Москвы и Ленинграда.

Секретарь съезда С. И. Вавилов и заместитель председателя съезда Т. П. Кравец по завершении съезда отметили, что он прошел с большим успехом [1,2]. Так, Т.П. Кравец писал:

«Трудно придумать лучшую обстановку для глубокого обсуждения научной темы, для более сердечного сближения между работниками близких областей, чем неторопливая, спокойная жизнь на пароходе, достаточно комфортабельно обставленном и силою вещей удаленном от шума большого города, от более широкой массы лиц, хотя и заинтересованных работами съезда, но не приносящих в его труды своего активного творчества. Эту массу, впрочем, весьма полно обслуживали собрания на берегу! Сколько новых знакомств было завязано на Волге! Сколько интереснейших общих прений было проведено в салоне парохода! Сколько богатых содержанием частных бесед отдельные ученые провели, гуляя по палубе и любясь медленно плывущими мимо широкими и меланхоличными видами!» [2, с. 915].



Секретарь организационного комитета VI съезда РАФ С. И. Вавилов с зарубежными участниками съезда, 15 августа 1928 г. (фото В. И. Калинина).

Материалы Волжского съезда (Volga Congress, как его именовали за рубежом) съезда представляют собой срез достижений мировой физики конца 1920-х годов, поскольку его программа включала научные сообщения выдающейся значимости [3,4].

Достаточно, например, назвать доклад Г. С. Ландсберга и Л. И. Мандельштама об открытии ими в феврале 1928 г. комбинационного света в кристаллах.

Съезд проиллюстрировал глубокую интеграцию российской физической науки с мировой в конце двадцатых годов прошлого столетия. Особую роль в организации и проведении съезда сыграл академик Абрам Фёдорович Иоффе, лично знакомый со многими иностранными физиками и ими ценимый. Обеспечив поддержку Правительства съезду, Иоффе направил личные приглашения многим выдающимся зарубежным физикам, часть из которых эти приглашения с интересом приняла. Свои позитивные (и даже восторженные) отклики о съезде зарубежные гости выразили в информационных сообщениях в научных журналах [5, 6] и в письмах к А. Ф. Иоффе [7]. А. Ф. Иоффе внимательно относился к каждому гостю при размещении его на пароходе. Например, специальная отдельная каюта была выделена Максу Борну, а Ч. Дарвин и его супруга получили ежедневный доступ в душ ... для кочегаров [8, с. 239] («Алексей Рыков» был обычным пассажирским пароходом, построенным в 1910 г. и, видимо, не предусматривавшим полные «люксовые» возможности).

Для дальнейшего развития физических исследований в СССР съезд сыграл исключительную роль, выдвинув в качестве одной из целей идею «децентрализации» физики, т.е. создание научно-исследовательских институтов в различных регионах страны, что и было реализовано на практике. Кроме того, заседания съезда в Н. Новгороде, Казани и Саратове, которые посетили местные преподаватели и студенты сыграли определенную пропагандистскую и просветительскую роль.

Как уже отмечалось в [9], около 30 докладов, сделанных на съезде, были по оптике. Из них большая часть касалась взаимодействия излучения с веществом и определением характеристик вещества спектроскопическими и фотоэлектрическими методами. Среди докладчиков были будущие академики и члены-корреспонденты Академии наук СССР Г. С. Ландсберг и Л. И. Мандельштам, С. И. Вавилов и М. А. Леонтович, А. Н. Теренин, П. И. Лукирский, И. В. Обреимов, В. Н. Кондратьев и А. И. Лейпунский, С. Э. Фриш и такие будущие крупные деятели оптической науки, как Л. В. Лёвшин, М. Л. Вейнгеров, В. М. Дукельский, В. К. Прокофьев, Я. И. Бокиник и др. К этому перечню можно добавить и доклад Л. Д. Ландау и Д. Д. Иваненко «Основы квантовой статистики».

Таким образом, докладчиками съезда были создатели основных направлений оптических исследований в стране, в результате которых развивались не только классическая спектроскопия, интерферометрия и инструментальная оптика, но также квантовая оптика, лазерная физика, нелинейная оптика, волноводная оптика, ближнепольная оптика, статистическая оптика, голография, оптика спеклов.

#### Список литературы

1. Вавилов С. И. // Научное слово. 1928. № 8. С. 95–101.
2. Кравец Т. П. // Природа. 1928. № 10. С. 914–920.
3. Аникин В. М. // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 1. С. 81–88. <https://doi.org/31857/S0869587320010028>
4. Усанов Д. А., Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2019. Т. 19. вып. 2. С. 153–161. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2019-19-2-153-161>
5. Born M. // Die Naturwissenschaften, 1928. Bd. 16, Heft 39, September, S. 741–743. DOI: 10/1007/BF01506295.
6. Darwin C. G. // Nature. 1928. Vol. 122. P. 630.
7. Иоффе А. Ф. Встречи с физиками. Мои воспоминания о зарубежных физиках. Л. : Наука. Ленингр. отделение, 1983. 262 с.
8. Born M. My Life. Recollections of a Nobel Laureate. NY : Charles Scribner's Sons, 1978. XI, 308 p.
9. Аникин В. М., Цой В. И. Шестой съезд русских физиков и развитие оптических исследований в Саратовском университете (К юбилеям Российской ассоциации физиков и Саратовского университета) // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM–2019: материалы 7-го Международного симпозиума и 23-й Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting–2019 / под ред. Г. В. Симоненко, В. В. Тучина. Саратов: Издательство Саратовского университета, 2020. С. 79–84.

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ**

В. М. Аникин

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-67-73

Представлены предыстория и страницы истории Российской ассоциации физиков (РАФ), функционировавшей в России в 1919–1928 гг. Ее деятельность проходила параллельно с созданием специальных научных институтов, призванных решать проблему тогдашнего импортозамещения высокотехнологичных изделий (оптических, в первую очередь). Инициативы петроградских физиков по созданию специальных научных институтов и организующей их работу ассоциации были поддержаны Наркомпросом и Правительством РСФСР.

**Комиссия по изучению естественных производительных сил России**

Первая мировая война поставила перед Россией острые проблемы ликвидации сырьевой и технико-экономической зависимости от других стран, а также активного расширения спектра отечественных научных исследований и промышленного производства, в том числе в области оптики. В феврале-сентябре 1915 г. была реализована идея академиков А. С. Фаминцына и В. И. Вернадского о создании в рамках физико-математического отделения Академии наук специальной Комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС). Под естественными производительными силами понимали подземные природные ресурсы, источники энергии всех видов и природные богатства (почвы, леса, животный и растительный мир и т.п.). В сообщении, опубликованном в 11-м номере журнала «Природа» за 1915 год говорилось:

«Организованная при Академии наук в Петрограде комиссия имеет целью изучение природных богатств России. Предполагается широко привлечь к этому делу и специалистов и просто лиц, заинтересованных в этих вопросах. Комиссия уже наметила ряд конкретных тем своей будущей работы: <...> русские месторождения соединений алюминия, лития, цинка, фтора, калия, вольфрама, олова, йода, сурьмы; русские запасы серы, колчедана, слюды, полевого шпата, глауберовой соли и селитры; рыбные богатства отдельных районов, лечебные травы, дубильные вещества и т.д.».

В годы войны КЕПС занималась организацией практической помощи фронту, а в течение последующих 15 лет комиссия проводила планомерное изучение природных ресурсов России. Благодаря этой работе, сочетавшей организацию экспедиций и издание обстоятельных монографий и обзоров, «была создана минерально-сырьевая база страны и выработаны научно-организационные подходы к изучению ресурсного потенциала регионов» [1, с. 580]. Серьезность работы комиссии подчеркивает ее комплексный состав:

«В КЕПС был представлен весь цвет русской науки: Д. Н. Анучин, Л. С. Берг, И. П. Бородин, В. И. Вернадский, Б. Б. Голицын, Н. Д. Зелинский, В.Н. Ипатьев, А.П. Карпинский, Н.М. Кулагин, В.Л. Комаров, Н.С. Курнаков, В. А. Обручев, С. Ф. Ольденбург, А. П. и И. П. Павловы, Д. Н. Прянишников, В. Н. Сукачев, А. С. Фаминцын, Е. С. Федоров, А. Е. Ферсман, В. Г. Хлопин, Н. А. Холодковский, А. Е. Чичибабин, Д. И. Щербаков и многие другие учёные. Членами КЕПС являлись сотрудники пяти министерств (морского, торговли и промышленности, путей сообщения, финансов, народного просвещения), Центрального военно-промышленного комитета, Главного управления землеустройства и земледелия, Кабинета его Императорского Величества. Здесь были представлены научные и научно-технические общества России: Вольное экономическое, Минералогическое, Московское общество испытателей природы, Московское общество любителей естествознания, антропологии и этнографии, Петроградское общество естествоиспытателей, Русское географическое, Русское техническое, Московское общество содействия успехам опытных наук им. Х. С. Леденцова, Русское физико-химическое общества. Всего в членах организации в 1916 г. состояли 130 человек» [2, с. 69].

В задачу комиссии ставилась не только подготовка информативной базы о естественных производительных силах России, но и развитие технологий их



использования. Деятельность отделов, образованных в структуре КЕПС, впоследствии приводила к созданию исследовательских институтов. К примеру, планомерные фундаментальные и прикладные исследования проблем энергетики в интересах индустриализации России были начаты в 1916 г. отделом энергетики КЕПС, т.е. за несколько лет до того, как была образована Комиссия ГОЭЛРО (1920 г.). В научную программу работ отдела энергетики входили: «проблемы использования энергетических ресурсов страны, анализ основных направлений развития энергетики, теплотехника, газификация твердых топлив, электротехника сильных токов, гидроэнергетика и др.» [3, с. 1063]. 1 декабря 1930 г. на базе отдела был образован Энергетический институт (ЭНИИ) во главе с акад. Г. М. Кржижановским. Далее, для исследования водных ресурсов страны в структуре КЕПС был организован гидрологический отдел, а 19 июня 1919 г. Наркомпрос принял решение об учреждении Государственного гидрологического института.

В 1920-е годы деятельность КЕПС становится ещё более масштабной. Проводится 40–50 экспедиций в год. Параллельно издаются научные труды о природных богатствах нашей страны, их рациональном освоении и использовании. На базе комиссии создаётся 14 научно-исследовательских институтов, три лаборатории и музей. Так появились Институт географии РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Гидрологический институт и многие другие<sup>1</sup>.

Примеры материалов, опубликованных КЕПС, представлены на обложке на обложке 12-го номера журнала «Природа» за 1929 г.: Н. В. Симонов «Запасы энергии ветра Урала и юго-востока европейской части СССР», О. К. Блумберг «Работы Алтайской энергетической экспедиции Академии наук СССР 1927 года», Б. П. Вейнберг «Желтый уголь», О. К. Блумберг «Белый уголь Алтая». Ф. Я. Аносов «Ванадий в некоторых осадочных породах».

КЕПС, работавшая под руководством В. И. Вернадского до 1930 г., проявила себя как первая в мире организация, которая в масштабах огромной страны планомерно занималась всесторонним изучением базы ее экономического развития. 2 октября 1930 года КЕПС была реорганизована в Совет по изучению производительных сил (СОПС), который продолжила работу по исследованию природно-ресурсного потенциала всех регионов страны. Сегодня перед КЕПС в ранге единой современной государственной геоинформационной системы и в расшифровке «Кадастр естественных производительных сил» России ставится задача создания национальной сети опорных кластеров.

### **Первые научно-исследовательские институты России по физике**

В конце декабря 1916 г. председатель КЕПС В. И. Вернадский представил комиссии доклад «О государственной сети исследовательских институтов», содержащий план создания сети исследовательских институтов химического профиля. Как он полагал, «...наряду с возможным – без вреда для преподавания – напряжением научной работы высших школ необходимо широкое развитие в стране специальных исследовательских институтов прикладного, теоретического или специального характера. Формы таких организаций бесконечно разнообразны» [4, с. 302].

В журнале «Природа» за 1917 г., № 11-12, отражена ситуация с состоянием отечественного приборостроения в виде ответа на вопрос одного из читателей журнала:

«В России до войны поляризационные микроскопы не изготовлялись и русская высшая школа выписывала их по преимуществу из Парижа и Женевы. <...> В 1917 г. в Петрограде организовалось микроскопическое общество, которое имеет целью с одной стороны организацию постройки в России хороших микроскопов, с другой стороны развитие в России научной микроскопии. Это общество пока функционирует как отдельная комиссия при Академической комиссии по изучению естественных производительных сил России (Петроград, Тучков пер., 18, кв.

<sup>1</sup> См.: По заветам Вернадского: что такое КЕПС и почему это важно сегодня. URL : <https://rgo.ru/activity/redaction/articles/po-zavetam-vernadskogo-chto-takoe-keps-i-pochemu-eto-vazhno-segodnya/> (дата обращения: 10.12.2023).



6). Всем интересующимся вопросами микроскопии рекомендуется обращаться в названное общество».

Инициаторами создания физических научно-исследовательских институтов стали петроградские ученые, члены КЕПС и Русского физико-химического общества. Как отмечается в [5], первая четверть XX в. явилось временем «двух грандиозных революций в физике и вообще в естествознании, в которых ключевую роль играла именно оптика – зарождение и создание теории относительности и квантовой теории».

В апреле 1918 г. в составе КЕПС заведующим Физического института Петроградского университета Д. С. Рождественским был создан отдел оптотехники, а в мае – вычислительное бюро и экспериментальная оптическая мастерская [6]. Эти структуры стали базой для нового Государственного оптического института, организационное собрание которого под председательством Д. С. Рождественского состоялось в здании Физического института 15 декабря 1918 г. Среди участников этого собрания были [6, с. 279]: А. А. Архангельский, А. П. Афанасьев, В. И. Блумбах, Е. Д. Бодареу, Н. Г. Егоров, В. С. Игнатовский, А. Ф. Иоффе, В. В. Каврайский, А. А. Мазинг, Н. А. Нарышкин, В. В. Никитин, И. В. Обреимов, Д. С. Рождественский, Д. В. Скобельцын, Г. Г. Слюсарев, А. И. Тудоровский, С. С. Тяжелов, О. Д. Хвольсон, В. М. Чулановский, Е. Г. Яхонтов.

Директором был избран Д.С. Рождественский, представивший программу работы института, «объединившего в своих стенах исследования по главнейшим вопросам технической оптики и вместе с тем теории света» (С. И. Вавилов) [6, с. 280]. 6 мая 1919 г. в Наркомпросе было подписано постановление о создании ГОИ (его финансирование началось с ноября 2018 г.).

Кадровый вопрос стал решаться в момент основания Оптического института. 12 лучших студентов-физиков первого и второго курсов Петроградского университета были приглашены в так называемую группу «лаборантов» (стипендиатов) ГОИ, занимавшуюся по программе, составленной Д. С. Рождественским. Впоследствии «лаборанты» составили научное ядро ГОИ: В. А. Фок, А. Н. Теренин, Е. Ф. Гросс, С. Э. Фриш и другие [7].

В состав ученого совета ГОИ вошли ведущие физики-оптики со всего Петрограда, включая сотрудников созданного в октябре-ноябре 1918 г. по инициативе М. И. Неменова и А.Ф. Иоффе Государственного рентгенологического и радиологического института (ГРРИ), в котором оптическими проблемами под руководством Д. С. Рождественского занимались сотрудники физико-технического отдела.

С 1 января 1922 г. физико-технический отдел ГРРИ становится самостоятельной организацией во главе с А. Ф. Иоффе и обретает название Государственный физико-технический рентгенологический институт (ГФТРИ).

К концу 1920-х гг. число научных работников в руководимом А. Ф. Иоффе физико-техническом институте превысило 500 человек. В 1929 г. был создан Харьковский физико-технический институт, куда выехала группа сотрудников ГФТРИ во главе с И. В. Обреимовым. Затем исследовательские институты были организованы в Томске, Днепропетровске, Свердловске и других промышленных центрах. Всего было создано 16 институтов. В 1931–1933 гг. структурное изменение претерпел и сам ГФТРИ: он был разделен на три отдельных института: Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ), директором которого остался А. Ф. Иоффе; Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ), который возглавил А. А. Чернышёв, и Институт химической физики (ИХФ) во главе с Н. Н. Семёновым. Впоследствии еще ряд лабораторий ЛФТИ трансформировались в специализированные научные учреждения. Так, в частности, в 1943 г. на базе казанской группы ЛФТИ возникла специальная атомная лаборатория во главе с И. В. Курчатовым, а в 1956 г. в Ленинграде как филиал ЛФТИ был основан Институт ядерной физики.

То обстоятельство, что именно ЛФТИ являлся первоначальным источником зарождения специализированных институтов, было обусловлено разносторонними научными интересами А. Ф. Иоффе и его стремлением как можно шире использовать достижения физики в различных отраслях народного хозяйства. Так, например, в 1930–1931 гг. в стенах ЛФТИ были организованы агрофизические исследования, завершившиеся в организационном плане созданием в 1932 г. Института агрофизики (Ленинград).

### **Организационный съезд Российской ассоциации физиков**

Организационный съезд Российской ассоциации физиков (РАФ), проведение которого было согласовано в конце 1918 г. в Комиссариате народного просвещения, состоялся 4–7 февраля 1919 г. в Петрограде [8]. Основной костяк участников съезда составили ученые Петрограда и Москвы. Средства на проведение съезда выделил Наркомпрос; иногородних участников бесплатно разместили в общежитии Третьего Петроградского педагогического института, откуда они на специальных трамваях добирались до Политехнического института, где проходил съезд, обеспечили питанием.

Съезд открыл председатель организационного комитета «всероссийский учитель физики», член-корреспондент Петербургской академии наук (впоследствии – почетный член Российской академии наук) Орест Данилович Хвольсон. Он же, по предложению академика А. Н. Крылова, был избран председателем президиума съезда, в который также вошли академики А. Н. Крылов и П. П. Лазарев, профессор Московского университета Ю. В. Вульф, секретари съезда (их обязанности были возложены на сотрудника Рентгенологического института В. Р. Бурсиана, сотрудника сейсмической комиссии Академии наук П. М. Никифорова<sup>2</sup> и преподавателя Третьего Петроградского университета<sup>3</sup> А. Б. Ферингер), а также преподаватель Первого Петроградского университета Н. А. Нарышкин, казначей.

В первый день работы съезда с приветствиями выступили А. И. Кайгородов (Наркомпрос), профессор Н. Г. Егоров (Главная палата мер и весов), профессор Ю. В. Вульф (Физическое общество им. П. Н. Лебедева), ректор Первого Петроградского университета А. А. Иванов, академик П. П. Лазарев (Академия наук, Московский научный институт, Леденцовское общество), профессор В. И. Срезневский (Высший институт фотографии и фототехники)<sup>4</sup> и др.

Во вступительном слове О. Д. Хвольсона, в приветствии Наркомпроса и сообщении А. Ф. Иоффе «О задачах съезда» был сформулирован общий круг вопросов, которые должен решить съезд: координация научных сил России<sup>5</sup>; создание «центральных

---

<sup>2</sup> В 1928 г. П. М. Никифоров организовал Сейсмологический институт АН СССР. Избран членом-корреспондентом АН СССР в 1932 г.

<sup>3</sup> После революции вузы Петрограда были переименованы: Санкт-Петербургский университет получил имя 1-го Петроградского, б. Женские курсы – 2-го Петроградского, б. бывший Университет при Психоневрологическом институте – 3-го Петроградского. Обсуждение процесса слияния вузов в Петрограде велось в течение 1919 г. Первый, третий и часть второго университета были объединены в Петроградский государственный университет, а медицинская часть второго университета была преобразована в Государственный институт медицинских знаний (ГИМЗ).

<sup>4</sup> В. И. Срезневский, энтузиаст фотографии, автор первого русского справочника по фотографии, редактор журнала «Фотограф», в январе 1896 года на Втором съезде русских деятелей по техническому и профессиональному образованию выступил с докладом «О необходимости учреждения в России специального училища по фотографии и фотомеханическим процессам». Когда в 1918 г. в Петрограде учредили Высший институт фотографии и фототехники (ныне – Санкт-Петербургский университет кино и телевидения), он стал деканом научно-фотографического факультета.

<sup>5</sup> В выступлении А. И. Кайгородова отмечалось, в частности: «Задачи науки, не метафизической и самодовлеющей, не могут отличаться от задач всей жизни, но для успешного решения их нужна организованность, которой и следует заняться в первую очередь. Что касается внутренней организации, то это группировка по содержанию, для которой нет никаких ограничений или директив, это процесс подбора; но с наружной стороны желательная широкая ассоциация в государственном масштабе, объединение в

установок» (базовых научно-технических центров); распределение между научными центрами «необходимых приборов, инструментов, книг и материалов»; получение заграничной литературы; возобновление контактов с иностранными учеными и научными учреждениями.

Вечером 4 февраля на съезде были подробно рассмотрены направления деятельности открытых в 1918 г. новых научных институтов. С докладами выступили А. Ф. Иоффе («О Рентгенологическом институте»), Д. С. Рождественский («О Государственном оптическом институте»), А. А. Поповицкий («О Высшем институте фотографии и фототехники»)<sup>6</sup>, Л. С. Коловрат-Червинский («О Радиологическом институте»), П. П. Лазарев «О Физическом институте Московского научного института»), Ю. В. Вульф «Об институте твердого тела»).

Доклад о задачах и деятельности созданной Академией наук в 1915 г. «Комиссии по изучению естественных производительных сил России» сделал А. Е. Ферсман.

В последующие дни, как правило, на вечерних заседаниях съезда продолжилось рассмотрение и обсуждение общих организационных вопросов и задачах научных учреждений. Были заслушаны сообщения: «О задачах Главной палаты мер и весов» (Л. Д. Исаков), «О Нижегородской радиолоборатории» (оглашена телеграмма М. А. Бонч-Бруевича), «О центральных установках» (А. Ф. Иоффе), «О научном издании» (П. П. Лазарев), «Об установлении научной связи с заграницей» (В. А. Анри), «О стипендиатах» (Д. С. Рождественский).

В «Журнале русского физико-химического общества» [8] имеется информация о 37 заслушанных на съезде научных докладах в области теоретической физики, оптики, кристаллографии, радиофизики, вакуумной электроники, молекулярной физики, биофизики, вакуумной техники.

В последний день работы съезда, 7 февраля 1919 г., один из первых российских радиологов Л. С. Коловрат-Червинский огласил выработанные комиссией резолюции об организации Российской ассоциации физиков и направлениях ее деятельности. Признавалось «крайне желательным объединение русских физиков в общую ассоциацию, имеющую целью облегчить условия научной работы, упрочить связи между учеными и способствовать единству и расширению научного издательства» [8, с. 346]. Роль исполнительного органа ассоциации отводилось совету отделения физики Русского физико-химического общества (РФХО). Отмечалось, что произошедшее «умножение числа институтов» «покрывает почти все поле физики». Высказывалась пожелание, что «исследовательские институты объединят все живые силы страны в своих специальных областях, послужат основой для самобытных научных школ, сблизят науку с ее техническими приложениями, создадут новые возможности для исследователей путем устройства оборудованных с возможным совершенством центральных установок и облегчат деятельность других научных лабораторий, предоставляя в их пользование свои технические средства и свой опыт» [8, с. 347]. Для координации деятельности исследовательских институтов предлагалось создание «особого совета исследовательских институтов». Подчеркивалась также необходимость «всемерного усиления издательской деятельности в области физики», восстановления зарубежных научных связей.

Съезд высказал и обеспокоенность по поводу подготовки научной смены. Как говорилось в резолюции, «съезд полагает своей обязанностью указать правительственной власти на опасность, угрожающую в ближайшее время русской науке из-за недостатка в высшей школе молодых людей, которые могли бы посвятить себя подготовке к научной деятельности». В качестве главной причины называлась «материальная необеспеченность современного студенчества, вынужденного отдавать главную долю своего времени на зарабатывание средств к жизни». А «мерой борьбы с этим злом, рискующим оставить

---

одном центральном органе, который созывал периодические съезды, непрерывно организовывал бы и направлял работу» [8, с. 317].

<sup>6</sup> А. А. Поповицкий – директор Высшего института фотографии и фототехники.

нынешнее поколение физиков без продолжателей», называлось «учреждение соответствующих стипендий при высших школах или при исследовательских институтах» [8, с. 348].

Специальное внимание на съезде было уделено «самостоятельному изготовлению» в России оптических приборов и оптического стекла. Это признавалось делом государственной важности. Съезд поддержал предложение Д. С. Рождественского поставить производство оптического стекла под «контроль, руководство и ответственность» Государственного оптического института.

### Съезды РАФ

За 10 лет своего существования Российская ассоциация физиков провела шесть съездов [9]: первый – в сентябре 1920 г. в Москве, второй – в 1921 г. в Киеве, третий – 17–21 сентября в 1922 г. в Нижнем Новгороде, четвертый – 15 – 20 сентября 1924 г. в Ленинграде, пятый – 15 – 20 декабря 1926 г. в Москве. 4–15 августа 1928 г. в России был проведен Шестой съезд русских физиков, заседания которого прошли сразу в нескольких университетских городах, в том числе в Саратове [10]. На съездах задавали тон представители организованных научных институтов.

В 1928 г. в стране началась «перерегистрация» добровольных (в том числе, научных) обществ, сводившаяся к их существенному сокращению. РАФ приобрела всесоюзный статус и с 19 по 24 августа 1930 г. провела в Одессе на базе Физического института Первый Всесоюзный физический съезд, оставшийся единственным в истории. По его завершении участники совершили круиз на пароходе «Пестель» по Черному морю по маршруту Одесса – Батуми – Одесса.

### Заключение

Научно-технический потенциал послереволюционной России требовал существенного усиления. В качестве очевидного шага в этот период выступало обращение к иностранным технологиям и привлечение иностранных специалистов. Но в научной аудитории и на государственном уровне была осознаны серьезные риски, стоящие на этом пути. Действия КЕПС и РАФ были направлены на создание отечественной системы научных учреждений и подготовку кадров для них. Примерами органичной взаимосвязи фундаментальных и прикладных аспектов науки в довоенные годы служили научная деятельность Д. С. Рождественского, организация образовательного процесса по схеме А. Ф. Иоффе, который триединство науки, образования и производства выразил формулой: «Знания должны приобретаться параллельно с разработкой изобретений, с исследовательской работой» [11, с. 503]. В годы своей деятельности РАФ обозначала проблемы отечественной системы образования и науки.

### Список литературы

1. Гранберг А. Г. // Вестник Российской академии наук. 1996. Т.66, №7. С. 579 – 674.
2. Чесноков В. С. // Жизнь Земли. 2017, том 39, № 1. С. 66 – 78.
3. Козлов Б. И. // Вестник Российской Академии наук. 2000. Т.70, № 12. С. 1059-1068.
4. Вернадский В. И. Начало и вечность жизни / сост., вступ. ст., коммент. М. С. Бастраковой, И. И. Мочалова, В. С. Неаполитанской. М.: Сов. Россия, 1989. 704 с. (Публицистика классиков отечественной науки).
5. Очерк научной биографии Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (к 100-летию со дня основания) // Оптический журнал. 2018. Т. 85. № 11. С. 4–7.
6. Гуло Д. Д., Кононков А. Ф., Осинковский А. Н. Из истории основания Государственного оптического института (к 45-летию со дня основания) // История и методология естественных наук. Вып. III. Физика / ред. А. Х. Хргиан. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. С. 273 – 292.
7. Веселов М. Г. // УФН. 1958. Т. 64, вып. 4. С. 695 – 699.
8. Протоколы заседаний съезда физиков в Петрограде с 4-го по 7-ое февраля 1919 г. // ЖРФХО. 1919. Т. LI, вып. 4 – 6. С. 313 – 352.
9. Аникин В. М. // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 1. С. 81–88. DOI : 31857/S0869587320010028.



10. Усанов Д. А., Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 153–161. <https://doi.org/10/18500/1817-2019-19-2-153-161>
11. Иоффе А. Ф. О физике и физиках: статьи, выступления, письма. Л. : Наука, Ленингр. от-ние, 1985. 544 с.

## МАРШРУТ VI СЪЕЗДА РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ

В. М. Аникин, Д. В. Чурочкин, С. В. Чурочкина

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-73-83

Рассматриваются особенности работы VI съезда Российской ассоциации физиков в августе 1928 г. в различных городах СССР, причастных к организации и проведению съезда, – в Ленинграде, Москве, Н. Новгороде, Казани, Саратове.

### Участники и программа съезда

В августе 1928 г. по инициативе академика Абрама Федоровича Иоффе, руководителя Ленинградского государственного физико-технического рентгенологического института (ГФТРИ), в СССР был проведен VI съезд Российской ассоциации физиков (РАФ). В съезде приняли участие свыше 20 ведущих иностранных физиков и сопровождающих лиц. В числе зарубежных гостей, приглашенных А. Ф. Иоффе, были известные ученые из Германии, Англии, Франции, Голландии, США, Польши и Чехословакии: Антон Е. ван Аркель, Макс Борн, Леон Бриллюэн, Чеслав Бялбжеский, Чарльз Г. Дарвин (внук создателя эволюционной теории Чарльза Р. Дарвина), Петер Й. В. Дебай, Поль А. М. Дирак, Рудольф Ладенбург, Альфред Ланде, Гильберт Н. Льюис, Ричард Е. фон Мизес, Роберт В. Поль, Петер Принсгейм, Оуэн В. Ричардсон, Филипп Франк, Карл Шеель, Стефан Пеньковский, Кларк Б. Милликен (25-летний сын Роберта Э. Милликена) и др. Среди участников съезда оказались и 6 будущих лауреатов Нобелевской премии – О. В. Ричардсон (премия 1929 г. за 1928 г.), П. А. М. Дирак (1933), П. Й. В. Дебай (1936), М. Борн (1954), Н. Н. Семёнов (1956), Л. Д. Ландау (1962). Количество участников съезда оценивали до 400 человек, из которых около 30 человек (из числа докладчиков и слушателей) впоследствии стали академиками и членами-корреспондентами АН СССР: Н. Н. Семёнов, Л. Д. Ландау, С. И. Вавилов, Г. С. Ландсберг, Л. И. Мандельштам, А. А. Андронов, В. К. Аркадьев, Б. А. Введенский, Е. К. Завойский, И. К. Кикоин, В. Н. Кондратьев, Т. П. Кравец, Г. В. Курдюмов, М. А. Леонтович, П. И. Лукирский, И. В. Обреимов, П. А. Ребиндер, Д. А. Рожанский, А. Н. Теренин, Я. И. Френкель, С. Э. Фриш, А. Н. Фрумкин, В. В. Шулейкин, Ю. Б. Харитон и др.

Доклады на съезде отличались высоким научным уровнем, что позволяет рассматривать его как некое «зеркало» отечественной и мировой физической науки конца 1920-х гг. [1]. Съезд отличался необычным для того времени форматом организации, нашедшем отражение в его названиях – «передвижной», «плавающий», Волжский съезд, Volga Congress. В распоряжение участников съезда был предоставлен экскурсионный пароход «Алексей Рыков». Заседания съезда проходили в Москве и в волжских университетских городах – Нижнем Новгороде, Казани и Саратове, а плодотворные научные дискуссии велись также в каютах и на палубах парохода «Алексей Рыков» в течение всего путешествия участников съезда по Волге от Нижнего Новгорода до Саратова [2]. Предусматривались и разнообразная культурная программа, и остановки вблизи волжских пляжей.

Накануне съезда была издана программа его проведения, в которой доклады участников были распределены по 10 научным секциям, проводившимся в различных аудиториях I Московского государственного университета (МГУ) во второй половине дня 5 – 8 августа. Утренние заседания проводились в эти дни в Большой аудитории

Физического института I МГУ и имели статус пленарных. Специальные программы формировались для заседаний съезда в Нижнем Новгороде, Казани и Саратове.

В сборнике съездовских тезисов докладов материалы группировались по научным организациям, в которых работали участники съезда, что дает представление о географии докладчиков и участников съезда: Москва (143 участника), Ленинград (83 участника), Казань, Н. Новгород, Воронеж, Пермь, Томск, Киев, Одесса, Харьков и др.

### Съезд в зеркале прессы

Работу VI съезда физиков (его называли Всесоюзным) освещали как центральные газеты «Правда» и «Известия», так и газеты, выходившие в Н. Новгороде, Казани, Саратове и Покровске. Предварительную информацию о ходе подготовки предстоящего съезда газета «Нижегородская коммуна» опубликовала еще 9 мая 1928 г. В интервью, взятом у А. Ф. Иоффе, формулируется комплексная задача съезда – обсуждение современных проблем физики вкупе с принципами популяризация физики в широких слоях населения, называются возможные зарубежные гости.

*Ленинград.* Иностранцы участники прибывали на съезд через Ленинград. Первое сообщение об их приезде газета «Известия» опубликовала 2 августа 1928 г. Сопровождаемые академиком А. Ф. Иоффе, они побывали в Физико-математическом институте АН СССР, Эрмитаже и на сейсмологической выставке.



Справа налево: Ю. Б. Харитон, А. Н. Арсеньева и В. Н. Кондратьев встречают П. Дирака и Р. Поля, прибывших в Ленинград на пароходе «Пруссия», 1 августа 1928 г. (фото из Архива Американского института физики)

*Москва.* 4 августа 1928 г. газета «Правда» кратко проинформировала об открытии съезда физиков в физическом институте I МГУ. 5 августа газета повторила анонс, добавив, что программа заседания включает «доклады о новых проблемах по изучению материи, строения атомов, электромагнитных волнах и по другим вопросам современной физики».

4 августа 1928 г. начало работы съезда предварила дружеская встреча участников, которая прошла с 9 часов вечера в Москве, в Доме ученых ЦЕКУБУ (Центральной комиссии по улучшению быта ученых) на улице Пречистинка, 16 [1,3]. В Москве прошли научные заседания научных секций: по молекулярной физике (4 заседания, аудитория № 3), оптической (4 заседания, аудитория № 2), по электромагнетизму (3 заседания, 5 – 7 августа, Большая аудитория), по лучам Рентгена (1 заседание, 8 августа, Большая аудитория), геофизики (1 заседание, 5 августа, аудитория Геологического института),



биофизики (3 заседания, 6 – 8 августа, аудитория Геологического института), физико-химической (2 заседания, 5 и 6 августа, аудитория Физиологического института), теоретической физики (2 заседания, 5 и 7 августа, аудитория № 5 Ботанического института и аудитория Физиологического института), акустики (1 заседание, 8 августа, аудитория Физиологического института), технической физики (3 заседания, 6 – 8 августа, аудитория № 5 Ботанического института).

8 августа «Правда» поместила подробную информацию о московской части работы съезда с фотографиями иностранных участников. Академик А. Ф. Иоффе в интервью отметил, что «введение молодежи в круг современных идей физики и расширение ее научного горизонта – основная задача съезда. В организационном отношении съезд должен разрешить вопрос о создании научно-культурных центров в провинции».

10 августа 1928 г. в газетах «Правда» и «Известия» были помещены сходные по содержанию сообщения о пленарном заседании съезда, состоявшемся 9 августа (после завершения секционных заседаний), на котором рассматривались принципиальные вопросы организации исследований в области физики. Сообщалось, что «съезд высказался за децентрализацию научно-исследовательской работы в области физики, для чего признано необходимым принять все меры к открытию в провинции в ближайшее время ряда новых исследовательских физических институтов, в первую очередь в Харькове (специальность – низкие температуры) и Томске (специальность – изучение твердого состояния тел). Постановлено обратиться с ходатайством в Наркомпрос о содействии развитию научно-исследовательской работы при физических лабораториях в провинциальных вузах. Решено также ходатайствовать о сохранении намеченных к закрытию физических отделений при Институте коммунистического воспитания в Москве и физико-математическом факультете Ленинградского университета».

Публикация в «Правде» содержит добавление о том, что «перед соответствующими инстанциями поднимается вопрос об облегчении для научных работников порядка получения из-за границы литературы и пособий».

Пленарное заседание 9 августа завершилось переизбранием академика А. Ф. Иоффе президентом Российской ассоциации физиков, а академика П. П. Лазарева и профессора В. И. Романова – его заместителями.

*Волжский маршрут (общий обзор).* После Москвы маршрут съезда пролегал по Волге на пароходе «Алексей Рыков». Привлекательной «изюминкой» VI съезда РАФ был именно его оригинальный формат. В плавание по Волге отправились около 200 человек. Как отмечал С. И. Вавилов, «участники съезда, как будто не зная усталости, с утра до поздней ночи вели физические дискуссии всюду – в каютах, на палубе, на капитанском мостике и за общим обеденным столом» [4, с. 101]. Естественно, научные дискуссии чередовались с отдыхом, купанием в Волге.

В Нижнем Новгороде заседание прошло 10 августа. 11 августа и днем 12 августа состоялись пленарные заседания съезда в Актовом зале Казанского университета. А 15 августа 1928 г. делегатов съезда встречала Большая физическая аудитория Саратовского университета.

Вечером 15 августа экскурсия на пароходе продолжилась до Сталинграда, и некоторые участники съезда отправились затем на Кавказ, где, в частности, посетили Тифлисский университет. Здесь был тоже организован ряд научных заседаний и осмотр научных учреждений. «Большинство участников, – отмечал С. Э. Фриш, – [затем] поехали еще на море в Батуми, и только оттуда все стали разъезжаться по домам» [5, с. 133]. «Таким образом, – вспоминал участник съезда Ю. Б. Харитон, – в конечном счете мы доехали до Тбилиси. Это было очень здорово придумано, ведь нельзя в одном месте собрать такие аудитории, как это удалось сделать Абраму Федоровичу [Иоффе]. Для преподавательского и студенческого состава этих университетов такая форма съезда была

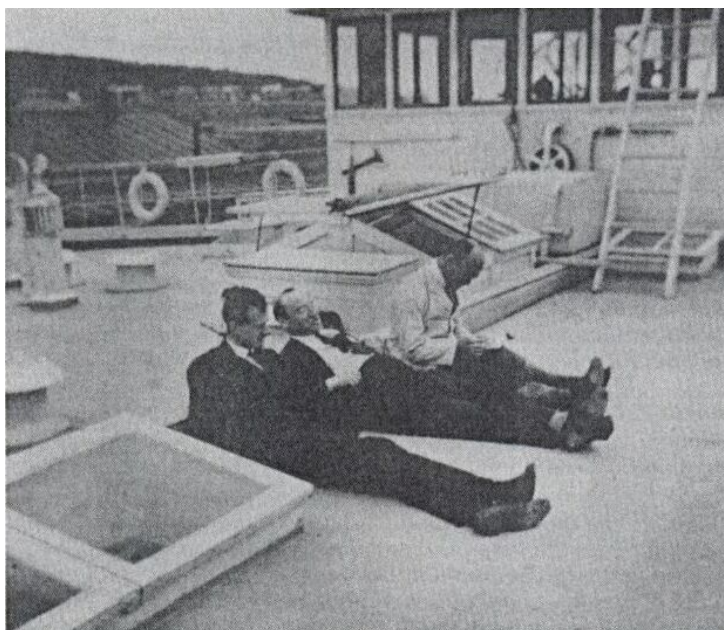
колоссальным событием. Они могли видеть и слышать многих известных физиков» [6, с. 81].



Пароход, на котором проходили заседания VI съезда РАФ



На палубе парохода «Алексей Рыков» (слева направо):  
М. Борн, Р. Поль, А. Н. Арсеньева, Ю. Б. Харитон, П. Дирак  
(фото из Архива Американского института физики)



На верхней палубе парохода (слева направо):  
П. Дирак, Я. И. Френкель, А. Ланде, август 1928 г.  
(фото из Архива Американского института физики)

К деятельности по организации VI съезда РАФ традиционно были привлечены студенты высших учебных заведений и исследовательских институтов. Многие из них потом составили новый «эшелон» отечественных физиков. Внушительный «десант» на съезде составили молодые сотрудники и аспиранты ГФТРИ, студенты Ленинградского университета. Среди них были и 24-летний Юлий Борисович Харитон, будущий академик, трижды Герой Социалистического Труда и 20-летний Исаак Константинович Кикоин, будущий академик, дважды Герой Социалистического Труда. И. К. Кикоин вспоминал:

«На всю жизнь запомнился мне 1928 год. В этом году состоялся очередной, шестой по счету, съезд физиков. Организатором съезда был академик Иоффе. Обычно участниками съездов были уже зрелые физики, которые должны были вносить денежные взносы, сравнительно значительные, во всяком случае, с нашей студенческой точки зрения. Поэтому естественно, что студенты на съезд не попадали, но... Но этот съезд был особенный!

Во-первых, на организацию съезда правительство выделило довольно значительную сумму. Во-вторых, на съезд были приглашены крупнейшие физики мира, многие из которых на приглашение откликнулись. <...> В-третьих, программа проведения съезда была необычной: съезд откроется в Москве, но основная часть его работы будет происходить на специально зафрахтованном пароходе, который отправится в плавание вниз по Волге от города Нижний Новгород. Понятно, что среди студентов только и было разговоров что об этом чудо-съезде. О том, чтобы побывать на нем, мы не смели даже и мечтать. И что же?

Вскоре мы с восторгом узнали, что по настоянию Абрама Федоровича Иоффе оргкомитет принял решение пригласить на съезд некоторое количество лучших студентов физико-математического факультета Ленинградского политехнического института и физико-математических факультетов Ленинградского и Московского университетов. В числе приглашенных оказался и я. <...>

Во время плавания остановки делались не только по деловым соображениям, но и просто для отдыха в очень живописных местах Волги. <...>

После окончания официальной части съезда состоялась поездка его участников на Кавказ. В первый же день пути в наш студенческий вагон пришли в гости Иоффе, Поль, Дебай и другие не менее прославленные ученые» [7, с. 213, 214].

Как писал участник съезда Д. Д. Галанин, «поездка на пароходе стоила очень дешево (в общей каюте 8 руб.); но по железной дороге, несмотря на все хлопоты, организационному комитету не удалось получить скидки для членов съезда. Это

обстоятельство многим не позволило последовать из Саратова далее за иностранными гостями, направившимися затем через Сталинград – Владикавказ в Тифлис» [8, с. 148].

*Нижний Новгород.* В Нижнем Новгороде участников съезда, как сообщалось в газете «Нижегородская коммуна» от 11 августа 1928 г (№ 185), встречали представители университета и нижегородского студенчества. В августовских публикациях газеты «Нижегородская коммуна» рассказывается о программе пребывания съезда в Нижнем Новгороде и о его дальнейшем маршруте. Гости осмотрели достопримечательности города и посетили Нижегородскую ярмарку.

В Красном зале университета выступили: профессор Гильберт Льюис (США) с докладом «Физическое обоснование термодинамики»; профессор Немецкого университета Карла-Фердинанда в Праге Филипп Франк с докладом «О терминах и положениях классической механики, которые имеют важное значение в квантовой механике»; профессор Б. В. Ильин (Московский университет) с докладом «О молекулярных силах»; доцент Ленинградского университета К. В. Бутков с докладом (в соавторстве с А. Н. Терениным) «Оптическое возбуждение и диссоциация паров галоидных солей».

11 августа газеты «Правда» и «Известия» дали сообщение о заседании съезда в Нижнем Новгороде и отплытии (по его окончании) парохода «Алексей Рыков» с участниками съезда в Казань.

*Казань.* 13 августа «Правда» опубликовал материал агентства РОСТА «Казанский цикл съезда», где отмечается, что к открытию съезда прибыло свыше 700 участников. С докладами выступили: директор Физического института Гёттингенского университета, профессор Роберт Поль («О новых экспериментальных методах в светозлектрическом исследовании кристаллов»), академик А. Ф. Иоффе («Электрические явления в диэлектриках»), директор Института прикладной математики при Берлинском университете Ричард фон Мизес («Об основах исчисления вероятностей»). «Иностранные ученые, – сообщала газета, – осматривали город, научные учреждения и посетили национальный концерт». Некоторые ученые выступили с докладами в рабочих клубах и собраниях».

В Казани среди молодых свидетелей съезда были студент Евгений Завойский, будущий академик и лауреат Ленинской премии [23, с. 19], и 17-летний абитуриент 1928 г. Семен Альтшулер, будущий член-корреспондент АН СССР, который слышал приветствие делегатам съезда, произнесенное профессором Казанского университета В. А. Ульяниным на четырех языках [9, с. 270]<sup>7</sup>.

По воспоминаниям тогдашнего студента А. С. Ключевича (впоследствии – профессора), после физического съезда для учителей физики провели методический съезд [10, с. 32]. Это подтверждает и Д. Д. Галанин: «...Ко времени открытия съезда Наркомпрос Татарской республики собрал 400 работников с мест. После отбытия съезда для них были устроены научные доклады и демонстрации» [8, с. 148]. Согласно программе Казанской части съезда для работников просвещения были прочитаны лекции: В. А. Ульяниным – «Спектр электромагнитных колебаний (с опытами)», А. Д. Гольдгаммером – «Периодическая система Менделеева в свете современных атомных представлений», Н. И. Медянцевым «Физика в школах с точки зрения современных научно-методических исследований».

*Проведение заседания VI съезда РАФ в Саратове.* 16 августа 1928 г. «Правда» сообщила о прибытии 15 августа в Саратов делегатов съезда физиков для проведения заключительного цикла съезда. Содержательные сведения о саратовском этапе VI съезда РАФ в августе 1928 г. были опубликованы в газете «Поволжская правда». Первое из них, предварительное, датируется 12 августа 1928 г. за подписью сотрудника Физического института Саратовского университета Н. А. Трифонова. Опубликованные материалы

<sup>7</sup> Отчет о казанской части съезда опубликовала газета «Красная Татария» (1928, 14 августа, № 187 (3160), с. 1).



свидетельствуют о серьезной подготовке, которую провели в Саратове в преддверие съезда.



Президиум VI съезда физиков, Казань, 12 августа 1928 г.  
(фото из Архива Американского института физики)

Пароход из Казани в Саратове ожидали 14 августа в 5 часов вечера. Об этом уведомляла информация, размещенная в этот день в «Поволжской правде». Сообщалось также, что к 10 часам 15 августа к пристани будут поданы 10 автомобилей и 3 трамвайных вагона с прицепами для доставки участников в Физический институт университета, где состоится заседание. Был указан адрес, где размещаются Саратовский комитет и исполнительное бюро съезда: Физический институт (угол Ленинской и Казарменной ул., 3-й учебный корпус университета, тел. 10-29), куда и следовало обращаться по всем делам с 9 час. утра до 9 час. вечера.

На самом деле пароход прибыл в Саратов в 7 час. утра 15 августа. На пристани он был встречен представителями организационного комитета. К 11 часам гости прибыли в Физический институт СГУ. В этот день в «Поволжской правде» были опубликованы приветствие съезду от имени Нижне-Волжского краевого организационного комитета, подписанное М. И. Хлопьянкиным, и приветствие от «научных работников», подписанное ректорами саратовских вузов – Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, Саратовского института сельского хозяйства и мелиорации, Саратовского ветеринарного института, Саратовского коммунистического университета, руководителем краевого профсоюза (секции научных работников). Последняя подпись – Константина Александровича Леонтьева, руководителя Физического института СГУ, председателя местного отделения центрального организационного комитета съезда физиков.

16 и 17 августа «Поволжская правда» опубликовала интересные репортажи со съезда, один из которых сопровождался рисунками. В этих репортажах был назван реальный состав зарубежных физиков, которые смогли приехать в СССР (около 20 из 70 приглашенных); описана съездовская программа на 15 августа, включая перечень

докладов, которые были сделаны в Большой физической аудитории; опубликовано интервью секретаря организационного комитета съезда С. И. Вавилова, в котором он рассказал и о предыдущих съездовских заседаниях, и о значении съезда; приведена итоговая оценка выступления А. Ф. Иоффе на съезде; даны отклики забежных участников о VI съезде РАФ; дана информация о дальнейшем маршруте путешествия участников съезда по СССР.

*День 15 августа 1928 г.*, как сообщила газета, начался в Физическом институте Саратовского университета с посещения его лабораторий. Приведем журналистский пассаж из газеты «Поволжская правда»:

«Вчера днем светлые залы и коридоры Физического института наполнились необычными людьми. Почти у всех на груди изящные синие значки с цифрой VI. Повсюду – смешанный иностранный говор; здесь немецкая речь, там английская, тут французская...

Двери физической лаборатории гостеприимно открыты. В комнатах, заставленных блестящими приборами, одиночками и группами ходят гости, внимательно рассматривают оборудование лаборатории.

Впечатление от осмотра – хорошее. Некоторые из иностранных ученых сообщают, что они не ожидали увидеть в Саратове, который так далеко от Москвы, от центра, такую богатую и хорошо оборудованную физическую лабораторию.

В 12 часов дня из комнат лаборатории все стекаются в аудиторию. Делегаты съезда перемешиваются с местными работниками и оживленно беседуют» (Поволжская правда, 16 августа).

При открытии заключительного заседания VI съезда РАФ выступили: А. Ф. Иоффе, предложивший послать приветствие Владимиру Дмитриевичу Зёрнову, основателю Физического института СГУ; профессора Саратовского университета К. А. Леонтьев, преемник В. Д. Зёрнова, и Г. Н. Свешников, озвучивший свое приветствие на русском и французском языках.

На саратовском заседании съезда были заслушаны доклады: директора Физического института Гёттингенского университета, профессора Макса Борна «О статистической интерпретации квантовой механики», профессора Антона ван Аркель (Эйндховен, Голландия) «Исследования кристаллов», профессора Немецкого университета Карла-Фердинанда в Праге, преемника на этом посту А. Эйнштейна «К вопросу о наглядности в квантовой механике», Филиппа Франка «К вопросу о наглядности в квантовой механике», руководителя магнитной лаборатории ГФТРИ Я. Г. Дорфмана «Новое о магнетизме».

В газете «Поволжская правда» приводятся и другие интересные сюжеты со съезда. В конце дня 15 августа саратовские ученые-физики вместе со студентами-физиками посетили пароход «Алексей Рыков», где побеседовали с участниками съезда в товарищеской обстановке.

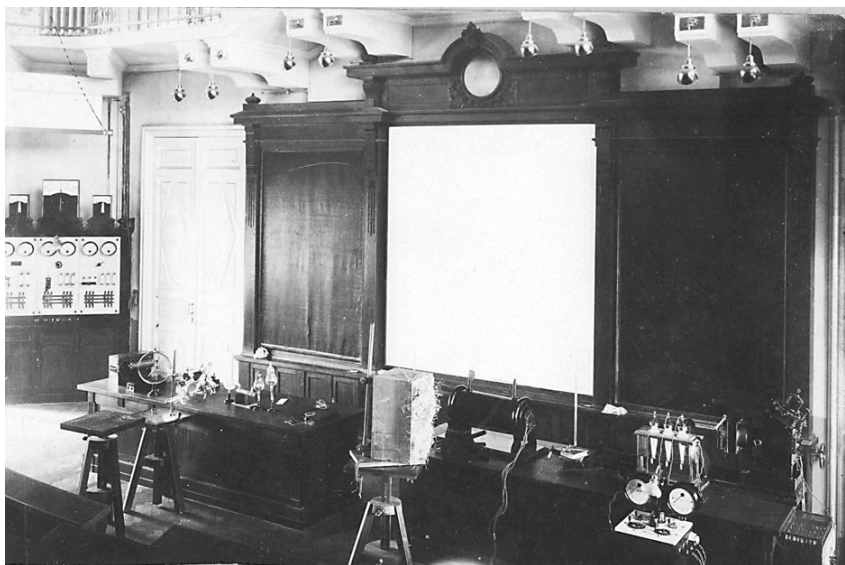
Делегаты съезда отмечали, что на пароходе была самая благоприятная обстановка для научных дискуссий и «проработки вопросов». Профессор Карл Шеель признался, что не думал, что в провинциальных городах России могут быть такие хорошие научные учреждения, как саратовский Физический институт, где проводится большая интересная научная работа.

17 августа газеты «Поволжская правда» и «Nachrichten» («Новости») поместили информацию о поездке 11 участников съезда в Республику немцев Поволжья, в г. Покровск.

17 августа 1928 г. «Известия» опубликовали итоговое сообщение агентства РОСТА о заключительном заседании съезда в Саратове. Публикуется мнение председателя съезда А. Ф. Иоффе об общих итогах съезда: «Идея передвижного съезда оправдала себя. Устраивая заседания съезда в Казани, в Нижнем и Саратове, мы преследовали задачу завязать связь между отдельными учеными, нам удалось привлечь большое количество физиков к работе съезда, мы ознакомили иностранных ученых с



условиями научной работы на местах». Сообщалось, что по окончании заседания в Саратове часть участников съезда выехали в Москву, часть – в Сталинград, а затем в Тифлис.



Большая физическая аудитория, 1920-1930-е гг. (фото В. И. Калинина)

*Путешествие по Кавказу.* Экскурсионный маршрут участников съезда продолжился в Грузию, о чем документально свидетельствуют сделанные там фотографии.



Первый ряд: А. Ланде (первый слева), А. Ф. Иоффе (третий слева), П. Прингсхейм (крайний справа),  
Второй ряд: Ч. Дарвин (второй слева), Р. Поль (за А. Ф. Иоффе) среди посетителей Ботанического сада.  
Батуми, август 1928 г. (фото из Архива Американского Института физики)

### Заключение

По завершении съезда А. Ф. Иоффе и С. И. Вавилов отмечали, что VI съезд РАФ выполнил задачи по научной кооперации, обосновал необходимость более широкого развития физических исследований в СССР, дал возможность зарубежным физикам ознакомиться со страной. Кроме научных докладов на VI съезде Российской ассоциации физиков рассматривался и концептуальный вопрос о «децентрализации» физических

исследований. Намеченная программа в этом направлении в последующие годы реализовывалась посредством открытия исследовательских центров в провинции.

Безусловно, съезд способствовал и пробуждению общего интереса к физике. Съездовские заседания во всех городах, по замечанию С. И. Вавилова, носили торжественный характер.



Слева направо: П. Дирак, Г. Льюис и А. Ф. Иоффе на Кавказе, август 1928 г. (фото из Архива Американского института физики)

Собственно, и научная программа съезда была насыщена обсуждением выдающихся научных достижений тех лет, отмеченных в последующем Нобелевскими премиями или имеющих аналогичную значимость (открытие в канун съезда Г. С. Ландсбергом и Л. И. Мандельштамом комбинационного рассеяния света).

Объективно VI съезд Российской ассоциации физиков имеет значение научного явления мирового масштаба.

#### Список литературы

1. Аникин В. М. // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 1. С. 81–88. <https://doi.org/31857/S0869587320010028>
2. Усанов Д. А., Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2019. Т. 19. Вып. 2. С. 153–161. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2019-19-2-153-161>
3. Born M. // Die Naturwissenschaften. 1928. Bd. 16. Heft 39. September. S. 741–743. <https://doi.org/10.1007/BF01506295>
4. Вавилов С. И. // Научное слово. 1928. № 8. С. 95–101.
5. Фриш С. Э. Сквозь призму времени. М. : Политиздат, 1992. 430 с.
6. Человек столетия Юлий Борисович Харитон / под ред В. Н. Михайлова. М. : ИздАТ, 1999. 664 с.
7. Исаак Константинович Кикоин в жизни и в «Кванте» (к 100-летию со дня рождения) / составители Ю. М. Брук, В.А. Тихомирова, А.И. Черноуцан. М. : Бюро Квантум, 2008. 240 с. (Библиотечка «Квант. Вып. 106. Приложение к журналу «Квант» № 2/2008).
8. Галанин Д. Д. // Физика, химия, математика, техника в трудовой школе. 1928. № 4. С. 146 – 148.

9. Альтшулер Н. С., Ларионов А. Л. Страницы научной и личной биографии С. А. Альтшулера // К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты / сост. и ред. В. П. Визгин, А. В. Кессених, К. А. Томилин. СПб. : РХГА, 2014. С. 263 – 314.
10. Ключевич А. С. Воспоминания химика – выпускника КГУ. Казань: Издательство Казанского университета, 2002. 72 с.

## «БОЛЬШОЙ ДРУГ РУССКОЙ ФИЗИКИ» КАРЛ ШЕЕЛЬ

В. М. Аникин

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-83-85

Приводятся биографические данные участника VI съезда Российской ассоциации физиков, немецкого физика, профессора Карла Шееля (1866–1936), редактора журнала «Zeitschrift für Physik», в котором в 1920–1930 гг. печаталось большое количество статей авторов из Советского Союза.

### Участник VI съезда РАФ Карл Шеель

Среди приглашенных академиком А. Ф. Иоффе на VI съезд Российской ассоциации физиков 1928 г. был редактор немецкого научного журнала «Zeitschrift für Physik» профессор Карл Шеель. В своем отчете о съезде Т. П. Кравец назвал его «большим другом русской физики», «выдержавшим сильный натиск со стороны некоторой части Германского физического общества, недовольной слишком широким участием русских физиков в указанном журнале» [1, с. 915]. Действительно, как показывает статистика, приведенная в [2] (согласно данным книги: Josefson P. Physics and Politics in Revolutionary Russia, Berkeley, 1991), в отдельные годы число публикаций российских авторов в журнале «Zeitschrift für Physik» доходило до 70, составляя около 40% от общего числа публикаций. На приводимом графике из [2] по горизонтальной оси отмечены годы, а по вертикальной оси – как абсолютное число публикаций (верхние графики, построенные по реальным и сглаженным данным), так и доли в процентах (реальные и сглаженные) числа статей российских авторов от общего числа публикаций в журнале (нижние графики).

На VI съезд РАФ Карл Шеель приехал одним из первых вместе с женой Меледой Шеель. Встречали их в Ленинграде. Во время пребывания в СССР Шеель пользовался особым вниманием. В Саратове у него брали интервью, в котором он высоко оценивал оснащение Саратовского университета. Побывали супруги Шеель с делегацией и в Автономной республике немцев Поволжья.

### Биография

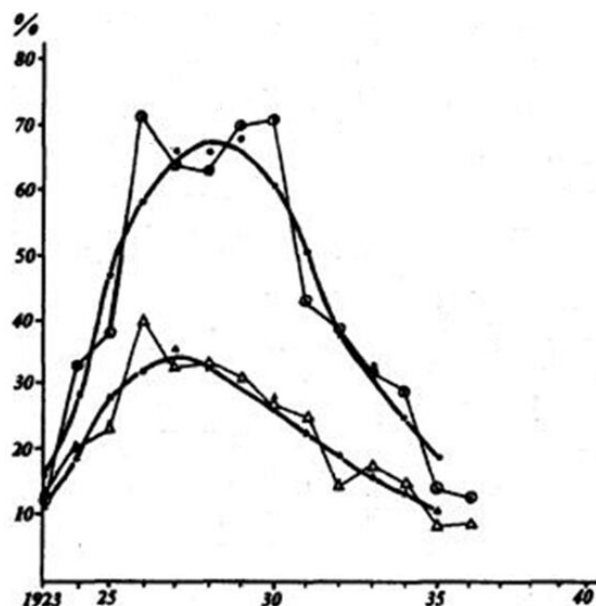
Карл Франц Кристиан Шеель (Karl Franz Christian Scheel, 10.03.1866, Росток – 08.11.1936, Берлин) в 1885 – 1890 гг. учился в университетах Росток (Universität Rostock) и Берлина (Friedrich-Wilhelms-Universität, современное название – Humboldt-Universität zu Berlin). Слушал лекции Германа Гельмгольца (Hermann von Helmholtz, 1821 – 1894), Германа Кноблауха (Karl-Hermann Knoblauch, 1820 – 1895), Августа Кундта (August Adolph Eduard Eberhard Kundt, 1839 – 1894) и Йоханнеса (Иоганна, Жана) Перне (Johannes (Johann, Jean) Pernet, 1845 – 1902)). В 1890 г. в Берлинском университете К. Шеель защитил диссертацию (PhD) в области термодинамики под названием «Die Ausdehnung des Wassers mit der Temperatur mittels des thermometrischen Verfahrens» (работа была выполнена в лаборатории Перне). Впоследствии прошел хабилитацию и получил право занимать профессорскую должность.

К. Шеель становится членом Берлинского физического общества, в 1891 г. поступает научным сотрудником в Имперский физико-технический институт (die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, PTR). В 1900 г. Шеель возглавляет Немецкое физическое общество (die Deutschen Physikalischen Gesellschaft, DPG). В 1913 г. он

получает титул тайного государственного советника (Geh. Regierungsrat) и становится руководителем физико-технического отдела PTR, публикует отчеты о его работе.



Обложка журнала  
«Zeitschrift für Physik»



Статистика публикаций российских авторов в 1920 – 1930 гг. в журнале «Zeitschrift für Physik»

С 1899 по 1918 г. Шеель работает редактором журнала «Fortschritte der Physik» и полумесячного библиографического отдела журнала «Physikalische Bericht», с 1902 г. – редактором Трудов DPG, а в 1919-1920 гг. становится редактором журнала DPG «Zeitschrift für Physik».



Карл Шеель, 1920-е гг.  
(фото из архива Американского института физики,  
Landé Collection)



В 1926 г. К. Шеель включается (вместе с Гансом Гейгером (Hans Geiger, 1882–1945)) в грандиозную работу по подготовке и редактированию многотомной физической энциклопедии – «Handbuch der Physik». Рецензию на её X том писал Сергей Иванович Вавилов<sup>8</sup>, отметив, в частности, следующее:

«Задача настоящего грандиозного издания, X том которого появился в продаже, – „дать полную картину современного состояния экспериментальной и теоретической физики“. Издание рассчитано на 24 тома. Томы 1–3: история, техника демонстраций, единицы, вспомогательные математические сведения; том 4-й: основания физики; томы 5–8: механика, включая акустику; томы 9–11: теплота; томы 12–17: электричество и магнетизм; томы 18–21: оптика всех длин волн; томы 22–24: строение материи и природа излучения. Предполагается, что издание будет закончено в 1–2 года. Объем издания (около 12000 стр., если судить по осуществленному тому) едва ли удивит читателя. Последнее довоенное издание „Handbuch'a“ Винкельмана было, примерно, того же объема. Если учесть стремительный темп развития физики за последние 20 лет, то, наоборот, придется удивиться сжатости нового издания, предполагающего дать полное представление о современной физике. Секрет такого „сжатия“, или, по крайней мере, неизменности объема издания, несмотря на возрастание содержания, связан, разумеется, с наличием нескольких новых, чрезвычайно обобщающих теоретических построений: теории квантов, теории относительности и учения о строении вещества».

Деятельность К. Шееля говорит о том, что он был энциклопедически образованным физиком. Как «старейшина», он выступил 4 августа 1928 г. с речью от имени зарубежных участников VI съезда на банкете, предварявшем работу съезда.

К. Шеель скончался в 1936 г. На его похоронах немецкий астрофизик Вальтер Гротриан (Walter Robert Wilhelm Grotrian, 21.04.1890 – 03.03.1954) назвал его «*верным служителем немецкой физики*» («*getreuer Eckart der deutschen Physik*»).

### Премия имени К. Шееля

Карл Шеель и Мельда Шеель оставили капитал для формирования премий имени К. Шееля за научные достижения защитивших диссертации молодых членов Берлинского физического общества. Премия ежегодно вручается с 1958 г. Она включает памятную медаль К. Шееля и денежную часть (5000 евро). В 2023 г. премия К. Шееля была присуждена Hayley Allison за исследования радиационных поясов Земли.



На вручении премии К. Шееля, июль 2023 г.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> С. Вавилов С. И. HANDBUCH DER PHYSIK. Herausgegeben von H. Geiger und Karl Scheel. Band X. Thermische Eigenschaften der Stoffe: Berlin, Julius Springer, 1926. pp. 486// УФН. 1926. Т. 6, вып. 1. С. 79.

<sup>9</sup> Hayley Allison erhält Karl-Scheel-Preis. URL : <https://www.gfz-potsdam.de/en/press/news/details/hayley-allison-erhaelt-karl-scheel-preis> (дата обращения - 10.12.2023).



## ИНОСТРАННЫЕ ФИЗИКИ В РЕСПУБЛИКЕ НЕМЦЕВ ПОВОЛЖЬЯ

Д. В. Чурочкин, С. В. Чурочкина

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-86-88

О поездке 15 августа 1928 г. немецких участников VI съезда Российской ассоциации физиков в столицу Автономной республики немцев Поволжья – г. Покровск (Энгельс).

Программа «плавучего» VI съезда Российской ассоциации физиков, проходившего в СССР в августе 1928 г., включала разнообразную культурную программу, отдых на Волге и путешествие участников съезда на Кавказ. Естественно, будучи в Саратове, достаточно представительная немецкая делегация, в которую входили не только ученые, но и сопровождавшие их лица (жены, представители фирм), не могла не побывать в Автономной республике немцев Поволжья.

Перед прибытием в Саратов съездовского парохода «Алексей Рыков» в газете Саратовского края «Поволжская правда» 12 августа 1928 г. [1] был «озвучен» список ожидавшихся иностранных физиков. Список был неточный, он включал и действительно приехавших в СССР иностранцев, и тех, которым были направлены приглашения, но которые не смогли приехать.

Вот этот список (жирным шрифтом выделены фамилии действительно прибывших ученых и сопровождающих лиц): **М. Борн** (Геттинген), Брандт (Берлин), **Л. Брюллюэн** (Париж), **Ч. Бялобржеский** (Варшава), **А.Э. ван Аркель** (Лейден), **Ч.Г. Дарвин** (Кембридж), **П. Дебай** (Лейпциг), **П.А.М. Дирак** (Кембридж), **Г. Заксе** (Лейпциг), **Р.В. Ладенбург** (Берлин), **А. Ланде** (Тюбинген), **Г. Льюис** (Калифорния), **Р. фон Мизес** (Берлин), **К.Б. Милликен** (Калифорния), **Ж.П. Нийгоф** (Лейден), **С. Пеньковский** (Варшава), **Р. Поль** (Геттинген), **П. Прингсхайм** (Берлин), П. Томашек (Марбург), **Г. Финт** (Кельн), **Ф. Франк** (Прага), **Э. Хохгейм** (Гейдельберг), **К. Шеель** (Берлин), П. и Т. Эренфест (Лейден).

Среди немецкой части иностранных ученых самым известным был *Макс Борн*. В [1] о нем писали: «Макс Борн является профессором Геттингенского университета в Германии и известен своими выдающимися работами по строению атома, по вычислению упругих констант, и строению кристаллической решетки и по приложению исчисления матриц в вопросах атомной механики». Впоследствии М. Борн получил Нобелевскую премию за фундаментальные работы в области квантовой механики и прежде всего за статистическую интерпретацию волновых функций (1954).

Информацию о поездке немецкой делегации из 11 человек в Покровск, состоявшейся 15 августа, через два дня, 17 августа, опубликовали сразу две местные газеты «Поволжская правда» (Саратов) [2] и газета Немецкой автономии «Nachrichten» [3]. В число немецких ученых, которые посетили Покровск, входили:

*Карл Шеель*, крупный научный администратор и многолетний редактор журнала «Zeitschrift für Physik»;

*Роберт В. Поль* (с 1916 по 1952 г. работал в Геттингенском университете; его работы посвящены физике твердого тела, одним из создателей которой он является, физике полупроводников, изучению фотоэлектрических явлений, рентгеновских лучей),

*Петер Й. В. Дебай* (в 1927 – 1934 гг. – профессор профессором экспериментальной физики и директор Физического института при Лейпцигском университете; в 1936 г. удостоен Нобелевской премией по химии «за вклад в наше понимание молекулярной структуры в ходе исследований дипольных явлений и дифракции рентгеновских лучей и электронов в газах»);

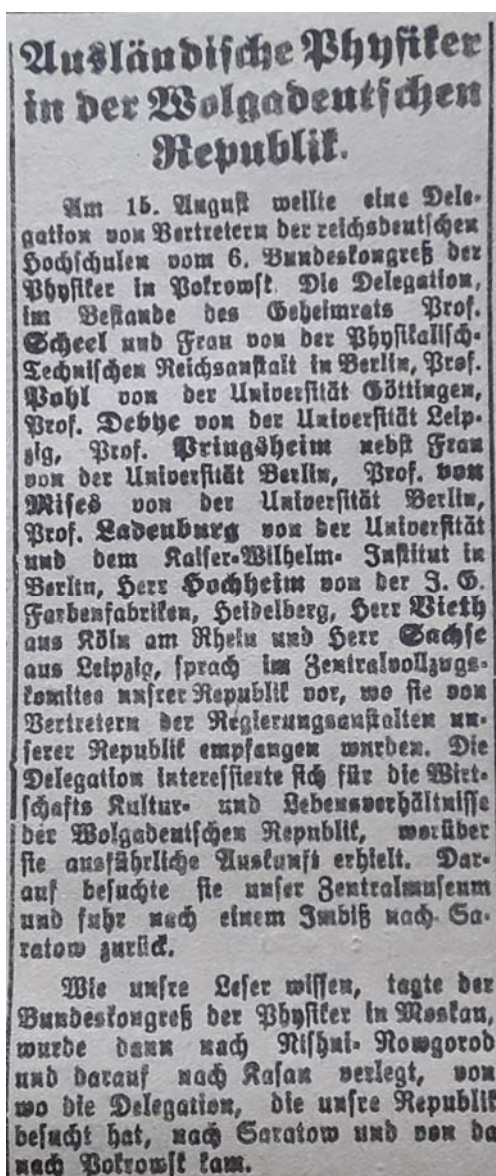
*Петер Прингсхайм* (с 1908 по 1933 г. работал в Берлинском университете; независимо от других открыл селективный фотоэффект, концентрационную деполаризацию, один из первых подтвердил эффект комбинационного рассеяния света);

*Ричард Е. фон Мизес* (в 1919 – 1933 г. работал директором (и профессором) нового Института прикладной математики, созданного по указанию Эрхарда Шмидта в Берлинском университете; был основателем и главным редактором (1921 – 1933) журнала «Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik»; занимался интегральными и дифференциальными уравнениями, механикой, гидродинамикой и аэродинамикой, конструктивной геометрией, исчислением вероятностей);

*Рудольф Ладенбург* (с 1924 по 1931 г. был руководителем отдела Института физической химии и электрохимии (Берлин–Далем); его исследования посвящены спектроскопии, аномальной дисперсии в газах, теории излучения, электрическим разрядам в газах, ядерной физике, вязкости, газодинамике).

К сожалению, Макс Борн не смог поехать в Покровск из-за боязни заболеть (15 августа в Саратове была дождливая погода).

Детали поездки в Покровск можно узнать в газете «Nachrichten» от 17 августа 1928 г. [3]. Статья и наш перевод к ней здесь приведены. К сожалению, транскрипция некоторых фамилий (особенно у обычных участников съезда) вызвала затруднение, и поэтому мы указали данные фамилии так, как они были приведены в [1].



#### Иностранные физики в Республике Немцев Поволжья

15 августа в Покровске находилась делегация представителей немецких университетов с 6 съезда физиков. Делегация в составе главы отдела Имперского физико-технического института (die Physikalisch-Technischen Reichsanstalt) в Берлине профессора Шееля с женой, профессора Поля из Геттингенского университета, профессора Дебая из Лейпцигского университета, профессора Прингсхайма с женой из Берлинского университета, профессора фон Мизес из Берлинского университета, профессора Ладенбурга из университета и института имени императора Вильгельма в Берлине (die Universität und das Kaiser-Wilhelm-Institut), господина Хохгейма из «И. Г. Фарбен» (I.G. Farbenfabriken), Гейдельберг, господина Финта из Кельна-на-Рейне и господина Заксе из Лейпцига, появилась в Центральном Исполкоме нашей республики, где ее приняли представители органов власти нашей республики. Делегацию интересовали экономические, культурные и бытовые условия АССР Немцев Поволжья, о которых они получили подробную информацию. Затем она посетила наш центральный музей и после перекуса поехала обратно в Саратов.

Как известно нашим читателям, съезд физиков начался в Москве, затем перебазировался в Нижний Новгород, а затем в Казань, откуда делегация, посетившая нашу республику, прибыла в Саратов, а оттуда в Покровск.

Как следует из приведенного текста, в делегации помимо ученых были и люди, которые не имели отношения к науке, но, возможно, являлись представителями деловых кругов Германии. К ним, например, относился Негг Э. Хохгейм из «И. Г. Фарбен»,

крупнейшей в Европе и мире химической и фармацевтической компании. Прояснение этого вопроса представляется интересным, например, в контексте последующего разделения германской научной и деловой элиты, произошедшего в 1933 году, и той роли, которую сыграла компания «И. Г. Фарбен» в этом процессе.

#### Список литературы

1. Саратовское заседание VI съезда физиков // Поволжская правда. 12 августа 1928. № 53. С. 5.
2. Делегаты съезда физиков в Покровске // Поволжская правда. 17 августа 1928. № 57. С. 3.
3. Ausländische Physiker in der Wolgadeutschen Republik // Nachrichten. 17 August 1928. No. 191. S. 4.

### ЗАСЕДАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ VI СЪЕЗДА РУССКИХ ФИЗИКОВ

Д. В. Чурочкин, С. В. Чурочкина

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/ci-37145-2023-1-88-89

Приводится перечень докладов, сделанных на заседаниях оптической секции VI съезда Российской ассоциации физиков согласно протоколам заседания секции.

Заседания оптической секции VI съезда Российской ассоциации физиков проходили в Москве в течение четырех дней (5–8 августа 1928 г.), а наиболее важные доклады по оптике обсуждались еще и на пленарных заседаниях в первой половине дня [1, 2]. Научные дискуссии велись и на борту съездовского парохода «Алексей Рыков». Приводимый перечень докладов оптической секции зафиксирован в протоколах ее заседаний [3], он несколько отличается от предварительной съездовской программы [4].

Заседание 5 августа 1928 г.

Председательствующий – Ч. Бялобржеский (Czesław Białobrzeski),  
секретарь К. С. Ляликов

1. *Прокофьев В. К.* (Государственный оптический институт, Ленинград). Аномальная дисперсия в парах щелочно-земельных металлов.  
Дискуссия: Вавилов С. И., Левшин В. Л.
2. *Прокофьев В. К.* (Государственный оптический институт, Ленинград). Аномальная дисперсия в парах К.
3. *Лукирский П. И.* (Государственный физико-технический рентгенологический институт, Ленинград). О поляризации при эффекте Комптона.  
Дискуссия: Левшин В. Л., Вавилов С. И., Бялобржеский Ч.
4. *Вейнгер М.Л.* Метод для определения ширины линий поглощения.  
Дискуссия: Вавилов С. И.
5. *Штейнберг Д.С. и Богомолов Г.Я.* Спектр поглощения молибденита.  
Дискуссия: Прокофьев В. К.

Заседание 6 августа 1928 г.

Председательствующий – В. И. Павлов, секретарь А. Н. Филиппов

1. *Лукирский П.И., Худякова Л.Д.* Вырывание вторичных электронов с различных атомных уровней.  
Дискуссия: Павлов В. И.
2. *Павлов В.И.* Метод определения критических потенциалов и его приложения к парам ртути.

Дискуссия: Фриш С. Э., Лукирский П. И., Рожанский Д. А., Бутков К. В., Вавилов С. И.

3. *Фриш С.Э.* Аспекты ионизированного натрия.

Дискуссия: Казарновский И. А., Павлов В. И.

4. *Гольдман А.Г.*, Косоногова К. М. Новые данные по фотогальваническим элементам.

Дискуссия: Френкель Я. И., Казарновский И. А., Павлов В. И.

5. *Леонтович М.А.*, Вавилов С.И. К теории тушения флуоресценции в вязких жидкостях.

Дискуссия: Френкель Я. И., Вавилов С. И., Сыркин Я. К.

Заседание 7 августа 1928 г.

Председательствующий – В. К. Прокофьев, секретарь А. Н. Филиппов

1. *Филиппов А. Н.* Исследования флуоресценции паров JBr, JCl.

Дискуссия: Казарновский И. С., Левшин В. Л.

2. *Подашевский М. Н.* Влияние пластинчатой деформации на внутренний фотоэффект NaCl, окрашенного рентгеновскими лучами

Дискуссия: Прокофьев В. К.

3. *Балл А. М.* Условия прохождения света через слой фотографического изображения при проектировании и увеличении.

Дискуссия: Ершов Д.

Заседание 8 августа 1928 г.

Председатель – В. Е. Мурашкинский, секретарь – Г. В. Варлих

1. *Гамбурцев Г. А.* Теория псевдофосфоресценции при многократно повторяющихся процессах поглощения и излучения света.

Прения: Левшин В. Л.

2. *Wiąobrzeski Cz.* Механизм действительного поглощения света.

Прения: Ландсберг Г. С., Вавилов С. И.

3. *Мурашкинский В. Е.* Измерение осевых аберраций телескопических систем малого увеличения.

Прения: Ландсберг Г. С., Левшин В. Л.

4. *Мурашкинский В. Е.* Установление эталонного набора плоских калибров интерференционным методом.

Прения: *Ландсберг Г. С., Вавилов С. И.*

5. *Вавилов С. И.* О возможных пределах применения принципа суперпозиции.

Прения: *Wiąobrzeski Cz, Ландсберг Г. С.*

6. *Варлих Г.В.* Технический метод интерференционного измерения плоских калибров.

Прения: Левшин В. Л., Ландсберг Г. С., Бурсиан В. Р.

#### Список литературы

1. Аникин В. М. // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 1. С. 81–88. <https://doi.org/31857/S0869587320010028>
2. Усанов Д.А., Аникин В.М. // Трибуна УФН. Опубликовано online 28 июня 2019. URL: <https://ufn.ru/tribune/trib131.pdf>
3. АРАН. Фонд 1689. Опись 1. Дело 203.
4. Программа заседаний VI съезда Российской ассоциации физиков: Москва. Казань. Н.-Новгород. Саратов. 5 – 15 августа 1928 г. М. : 1 Образцовая тип. Госиздата, [1928]. 15 с.



## М. БОРН НА VI СЪЕЗДЕ РОССИЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ФИЗИКОВ И ВНЕ ЕГО

Д. В. Чурочкин, С. В. Чурочкина

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-90-92

На примере Макса Борна, участника VI съезда Российской ассоциации физиков, описывается восприятие немецкими физиками общественно-политической атмосферы, в которой они работали после Первой мировой войны в 1920-гг.

Профессор Гёттинггенского университета, немецкий физики Макс Борн являлся одним из наиболее выдающихся и активных участников VI съезда Российской ассоциации физиков (РАФ), состоявшегося 5–15 августа 1928 г. Будущий лауреат Нобелевской премии, он выступил на съезде с докладом по основополагающим вопросам квантовой механики, участвовал в научных дискуссиях на протяжении всего периода съезда, написал по завершении съезда итоговую статью о его работе, которая стала одним из основных достоверных исторических источников [1].

Об августовских днях 1928 г. М. Борн упомянул в письме Альберту Эйнштейну от 28 ноября 1928 г. [2, с. 8 – 10]. В более позднем комментарии к этому письму [2, с. 11,12] Борн уточнил, что речь идет именно о днях работы VI съезда РАФ:

«...Путешествие в Россию <...> представляло собой «подвижный» съезд русских физиков, который был организован <...> Иоффе (Ленинград). Съезд начался в Ленинграде, продолжался в Москве, а потом и в Нижнем Новгороде. Здесь участники съезда сели на пароход и поплыли на нем вниз по течению, причем пароход останавливался во всех крупных городах, где проводились заседания конгресса. Все это было очень захватывающим и впечатляющим, но и исключительно утомительным. Я доехал до Саратова и оттуда железнодорожным путем – обратно в Германию».

Письмо М. Борна написано в широком контексте, в нем рассматривалась общественно-политическая ситуация, в которой оказались немецкие ученые после окончания Первой мировой войны. Прежде всего, как поясняет М. Борн:

«После войны 1914–1918 гг. были организованы международные союзы, относящиеся ко всем отраслям науки. Однако немцы не допускались к участию в них. Ненависть по отношению к Германии стихала очень медленно, и ко времени, когда было написано это письмо (1928), немецкие математики должны были быть приняты в Международный союз математиков на большом интернациональном математическом конгрессе в Болонье. Но группа «националистически» настроенных немецких математиков выступила с протестом».

Согласно М. Борну, лидерами группы националистически настроенных математиков были: «...Биберах, очень хороший аналитик, Мизес, выдающийся исследователь, который занимался также и теоретической физикой, и Эрхард Шмидт, наиболее выдающийся из них». При этом М. Борн непосредственно в письме к А. Эйнштейну характеризует степень приверженности национализму каждого из них в следующем ключе:

«...В политике он [Эрхард Шмидт] всегда придерживался правых взглядов, и это действительно соответствует его исконным чувствам. У Бибербаха и Мизеса – это симптом, заслуживающий жалости». Для полноты картины М. Борн не забывает в комментарии отметить свои собственные политические взгляды: «Я был дружен со Шмидтом еще со студенческих лет, и, хотя мы и были **политическими антиподами**, между нами сохранялась сердечная привязанность».

Диспозиция будет неполной, если не представить главного оппонента упоминавшейся группе националистически настроенных математиков – Д. Гильберта. М. Борн характеризует Д. Гильберта в высшей степени комплиментарно в комментарии к письму: «Давид Гильберт, мой почитаемый учитель и друг, был и остается сейчас первым математиком своего времени». В политическом смысле, как пишет Борн в письме к



Эйнштейну, «...Гильберт вовсе не левого направления. Наоборот, с моих, а особенно с твоих позиций он был весьма реакционным». Тогда почему Д. Гильберт оппонирует националистически настроенным математикам? М. Борн тут же объясняет: «Но у него очень острый взгляд на то, чем нужно заниматься ученым различных стран для блага человечества в целом».

Из того, как М. Борн представляет оппонентов Гильберта, можно заключить, что он верил в договороспособность первых и их нежелание вступать в жесткий конфликт с Д. Гильбертом. В частности, он пишет в письме к Эйнштейну: «Я, по опыту давней дружбы со Шмидтом, верю, что с ним всегда можно договориться, даже если он придерживается других взглядов».

Однако тогда из-за чего весь сыр-бор и зачем поднимать упоминаемые выше вопросы в письме к Эйнштейну? Оказывается у Д. Гильберта конфликт с голландским математиком Л. Э. Я. Броуэром, который оказался лидером группы националистически настроенных немецких математиков, как пишет М. Борн: «Поведение в этом (поездка на конгресс в Болонью) деле Броуэра, выступившего с еще более националистических позиций, чем сами немцы, было воспринято Гильбертом, как и всеми нами, как шутовство, но самое скверное заключалось как раз в том, что берлинские математики клюнули на броуэрские глупости».

А причем здесь А. Эйнштейн? М. Борн просит Эйнштейна в письме:

«... Я хотел бы написать тебе об одном деле, которое, собственно говоря, меня не касается, но где-то в душе все же часто волнует и беспокоит. Оно связано с конфликтом между Гильбертом и Броуэром. До сих пор я следил за ним только издали, но недавно был посвящен в подробности Бором и Курантом. При этом я узнал, что относительно письма Гильберта Броуэру ты держался нейтрально, основываясь на том, что каждому нужно позволить вести себя глупо в той мере, в какой он этого хочет. Я, естественно, нахожу это в высшей степени благоразумным, но мне кажется, что некоторые детали сложившейся картины тебе недостаточно известны. Поэтому я и хотел бы тебе написать об этом несколько слов. Возможно, что вскоре по этому поводу у Шпрингера состоится совещание, и Бор говорил мне, что было бы очень хорошо, чтобы оно было проведено в узких рамках редакции. Поэтому я прошу тебя сохранять свой нейтралитет и не предпринимать ничего против Гильберта и его друзей».

Итак, М. Борн просит Эйнштейна о нейтралитете в этом конфликте. Правда, в комментариях он признает: «Мое письмо к Эйнштейну, вероятно, не оказало никакого действия на ссору математиков».

Драматичность картины и эмоциональная вовлеченность М. Борна в конфликт также становится понятной из письма:

«... Я принимаю участие в Гильберте и озабочен его состоянием. Он очень тяжело болен, и вряд ли ему осталось еще долго жить. Любое волнение связано для него с опасностью и потерей тех немногих часов, в течение которых он сможет работать и жить. При этом он еще полон желания жить, считает долгом изложить свои новые основы – математики – задача, которой он и посвятил последние силы. Он мыслит яснее, чем когда-либо, и распространенный Броуэром слух о том, что Гильберт не во всем отдает себе отчет, – необычайно бессердечен».

Как мы видим «немецкий националист» голландского происхождения явно ведет игру на грани фола.

А вот и упоминание VI съезде РАФ. Цитируем М. Борна:

«Я говорил об этом (о конфликте между Броуэром и Гильбертом) с Мизесом в августе, во время нашей поездки в Россию, и он в самом начале разговора заявил, что геттингенцы просто бегают за Гильбертом, а тот, по-видимому, уже не совсем вменяем. Так что это утверждение об ослаблении умственных сил Гильберта возникло еще тогда. В ответ я сразу же прервал разговор с Мизесом, поскольку не считал его достаточно компетентным, чтобы он вообще имел право судить о Гильберте».

Что мы здесь видим? Слух Броуэра лег на благодатную почву и был подхвачен. Тем не менее, у оппонентов есть понимание того, что необходимо обсуждение противоречий, и не идет никакой речи о выдавливании друг друга за пределы немецкой научной среды в эмиграцию.

Подытоживая, можно сказать, что в 1920-е годы в немецкой научной среде наблюдалось динамическое равновесие между, условно, националистами и интернационалистами с небольшим преобладанием последних. Думается, что отголоски столкновений этих двух групп ученых так или иначе отразились на международных научных мероприятиях с участием немецких делегаций. Однако, как мы понимаем, с позиций сегодняшнего дня, баланс сил изменился в течение следующих нескольких лет.

#### Список литературы

1. Born M. // Die Naturwissenschaften, 1928. Bd. 16, Heft 39, September, S. 741–743. DOI: 10/1007/BF01506295.
2. Переписка А. Эйнштейна и М. Борна // Эйнштейновский сборник – 1972. М.: Наука, 1974. С. 9–12.

### Г. П. БОЕВ И Б. В. ГНЕДЕНКО: НАУЧНОЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ СОДРУЖЕСТВО

Д. Б. Гнеденко<sup>1</sup>, В. М. Аникин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия, Москва

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-92-97

Об истории многолетней дружбы и профессионального сотрудничества двух выпускников Саратовского университета – профессора Саратовского университета Георгия Петровича Боева (1898–1959) и профессора Московского университета Бориса Владимировича Гнеденко (1912–1995).

#### Введение

Физико-математическое образование в Саратовском государственном университете формировалось в процессе неоднократной «подпитки» профессорского состава преподавателями и выпускниками Московского университета [1,2]. Но однажды произошло и обратное явление: Борис Владимирович Гнеденко, ученик (в Саратовском университете) приехавшего из Москвы профессора Владимира Васильевича Голубева и его ученика в СГУ Георгия Петровича Боева стал ведущим профессором Московского университета, возглавившим кафедру теории вероятностей механико-математического факультета МГУ [3–7].

Путь из студентов Саратовского университета в профессора Московского университета занял, естественно, десятилетия, полные различных жизненных перипетий. И все эти годы функционировал творческий дуэт «Боев – Гнеденко». Об истории многолетнего профессионального содружества этих двух выпускников СГУ и рассказывается в данном сообщении.

#### «СОСТАВИЛ СТУДЕНТ Б. ГНЕДЕНКО ПОД РЕДАКЦИЕЙ Г. П. БОЕВА»

В отделе редких изданий научной библиотеке СГУ сохранился экземпляр любопытного учебного пособия, изданного способом стеклогравии. На обложке – заголовок (орфография сохраняется): «Доц. Г. П. Боев. Введение в Анализ. Конспект лекций, читанных на первом курсе Физико-Технического Отделения Педагогического факультета Саратовского Государственного имени Н. Г. Чернышевского Университета в 1927–1928 учебном году. Под редакцией Г. П. Боева. Составил студент Б. Гнеденко. 1927 г.». В зале каталогов имеется и соответствующая библиографическая карточка, «упорядочившая» список разработчиков пособия.

Историю этого учебника Б. В. Гнеденко рассказал в своей биографической книге «Моя жизнь в математике и математика в моей жизни» [8]. Когда Борис и его старший брат Глеб стали подрастать, их родители начали искать варианты переезда из Ульяновска в университетский город для продолжения обучения сыновей. Так в 1925 г. семья Гнеденко оказалась в Саратове. Здесь в 1927 г. Борис Гнеденко окончил 3-ю советскую школу II ступени (ныне в этом здании расположена 1-я Саратовская гимназия) и добился в Наркомпросе разрешения поступать в университет в 15-летнем возрасте. Лекции по математическому анализу первокурсникам физико-технического отделения педагогического факультета читал доцент Георгий Петрович Боев, окончивший в 1921 г. Саратовский университет в числе студентов первого набора (1917 г.) физико-математического факультета университета. Научные интересы Г. П. Боева формировались под влиянием профессора В. В. Голубева, а лекции Боев читал по разнообразным математическим дисциплинам.

Боев ехал в Иваново-Вознесенск не на удачу, а на место заведующего кафедрой математики Текстильного института. Такую возможность открыло для него получение ученого звания профессора, в котором он был утвержден в июле 1930 г. Главпрофбром Наркомпроса, руководящим органом высшего образования в стране. Положительную роль сыграли рекомендации профессоров СГУ В. В. Голубева, И. Ф. Полака и Г. Н. Свешникова, а также В. С. Федорова, профессора Иваново-Вознесенского политехнического института.

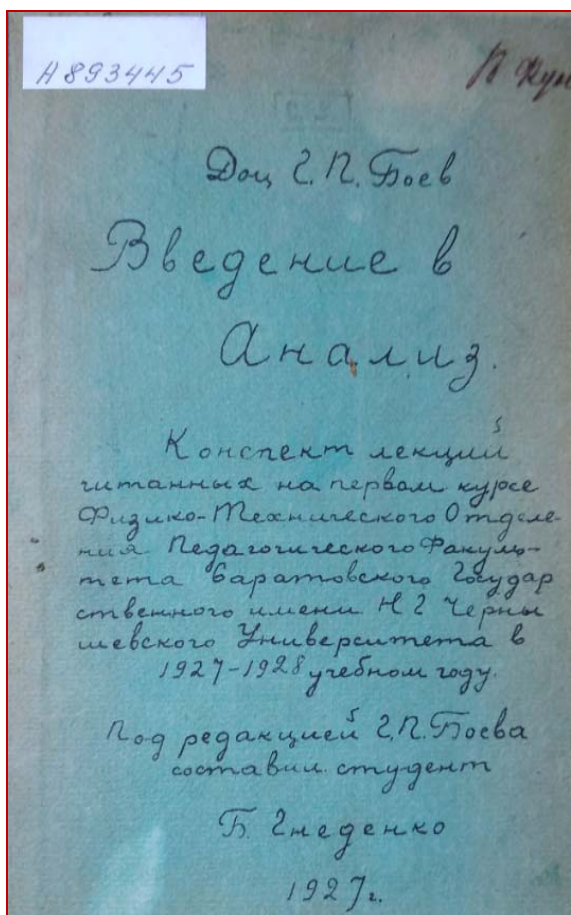
В Иваново (Иваново-Вознесенск был переименован в Иваново в 1932 г.) Г. П. Боев развил активную методическую деятельность, регулярно обсуждая с коллегами-текстильщиками по институту проблемы текстильного дела, математические методы, которые полезно использовать в моделировании ткацкого производства, сотрудники его кафедры Б. В. Гнеденко и Ю. С. Виноградов стали заниматься подбором примеров, которые можно было бы использовать на занятиях по математике со студентами. Б. В. Гнеденко писал:

«Появились математические задачи, связанные преимущественно с теорией вероятности, математической статистикой и механикой, производительности станков при обслуживании одним рабочим нескольких станков... Это принесло нам значительную пользу: на занятиях мы могли свободно говорить о том, какие разделы математики и как можно использовать в прядении, ткачестве, испытании материалов. Студенты мгновенно поняли, что мы проявляем интерес к их будущей специальности. Мы перестали быть для них представителями «общих» кафедр – они включили нас в легион текстильщиков. Я считаю опыт, полученный нами, весьма ценным для всех кафедр математики промышленных, экономических и сельскохозяйственных вузов, а также для тех, кто преподает на естественнонаучных факультетах университетов» [8, с. 48].

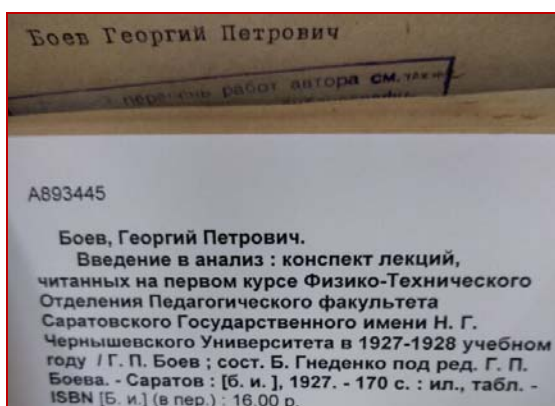
Зримым итогом работы кафедры Г. П. Боева в Ивановском текстильном институте стали работы по теории вероятности в приложении к текстильному делу, написание книг «Математическая статистика для текстильщиков» (автор Боев Г. П.; М. : Ивгиз, 1933. 140 с.), «Методика составления эмпирических зависимостей и номограмм в текстильном деле» (авторы Боев Г. П., Виноградов Ю. С., Гнеденко Б. В.; М. : Гизлегпром, 1936. 124 с), а также подготовка рукописи учебника по математике для текстильных институтов (рукопись под давлением событий времени была утрачена). Как «ударники» Г. П. Боев и Б. В. Гнеденко удостоились помещения своих фамилий на доску почета Текстильного института. Боев называл Гнеденко надеждой кафедры, поддержал его решение об обучении в столичной аспирантуре.

В 1937–1938 гг., уже после отъезда из Иванова, Г. П. Боев и Б. В. Гнеденко совершили высокий гражданский поступок, вступившись за своего коллегу по кафедре Юрия Сергеевича Виноградова, на которого написали донос его ближайший приятель, заведующий кафедрой теоретической механики, и приятельница его жены, преподавательница английского языка. Вот в чем состояла «вина» Виноградова, возведенная «радетелями» в ранг агитации против колхозного строя: нацеленный на

доходчивое применение математических методов, он сочинил задачу о вычислении работы по уборке колхозного поля прямоугольной формы, однако, выбрав начало координат в центре прямоугольника, получил при интегрировании ... ноль, поскольку поначалу не учел сугубо положительный характер искомой величины для различных частей прямоугольника. Верховная прокуратура СССР в январе 1939 г. «в связи с получением заявлений от Г. П. Боева и Б. В. Гнеденко» обвинения с Виноградова сняла. Впоследствии Б.В. Гнеденко отредактировал книгу Ю.С. Виноградова «Математическая статистика и ее применение к исследованиям в текстильном производстве».



Обложка учебного пособия  
Г. П. Боева и Б.В. Гнеденко



Библиографическая карточка книги  
в научной библиотеке СГУ

Б. В. Гнеденко вспоминал:

«... У нас дома была книга Поссе «Дифференциальное и интегральное исчисление», еще дореволюционного издания. Я снял ее с полки и параллельно с обработкой лекций читал соответствующий раздел из этой книги, что пополняло мои знания и помогало снимать непонятное на лекции. Единственным учебником, изданным к тому времени, был переводной курс математического анализа Гренвилля. Но это был совершенно элементарный учебник, никак не рассчитанный на воспитание математиков и физиков. Так я приучился сразу после лекции обрабатывать материал занятий и записывать связанное изложение в общей тетради. Вскоре однокурсники узнали о моих записях и стали их использовать» [8, с. 36, 37].

#### УДАРНИКИ ИВАНОВСКОГО ТЕКСТИЛЬНОГО ИНСТИТУТА

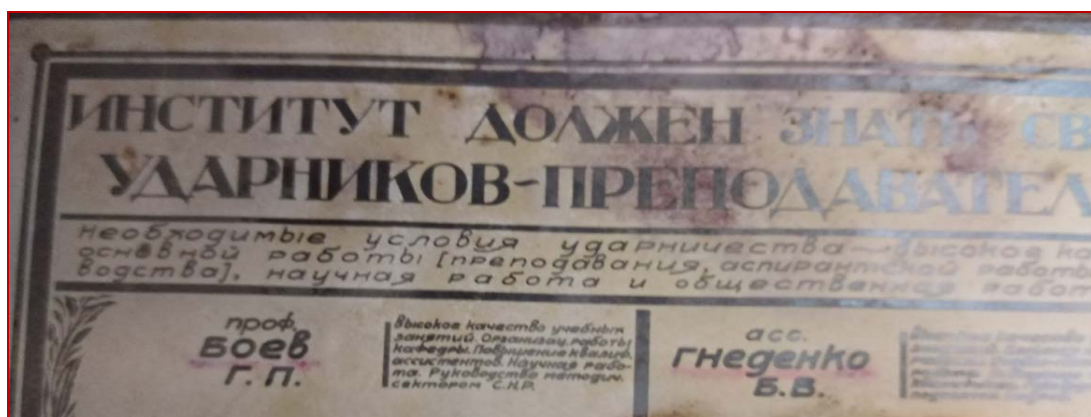
Сложилось так, что летом 1930 г. все ведущие преподаватели-математики дружно покинули Саратовский университет. В Москве их ждали вузы и научные учреждения (см. [3–7]). А 18-летний Борис Гнеденко в том году университет оканчивал, поскольку их курс выпустили по ускоренной программе. Б. В. Гнеденко пишет:

«В конце июля я встретил Г. П. Боева и обратился к нему с вопросом: что мне делать, куда я могу устроиться на работу, чтобы приобретать знания и умения? Я объяснил ему, что хочу учиться, а не ограничиваться полученным дипломом. Неожиданно для меня он сказал, что переезжает в Иваново-Вознесенск во вновь организуемый текстильный институт. Ему там будет нужен ассистент, и он приглашает меня на эту должность. Я начал готовиться к этой деятельности и 23 августа был уже в Иванове, куда за несколько дней до меня прибыл Боев с семьей. Свою жизнь я начал с визита к Боевым. Встретили меня очень радушно, напоили чаем. Затем Георгий Петрович перешел к деловым вопросам – предстоящей педагогической нагрузке, необходимости представиться институтскому начальству, получить ордер на комнату» [8, с. 45,46].



Итак, в 1934 г. территориально дороги Г. П. Боева и Б. В. Гнеденко разошлись. Боев вернулся в Саратовский университет, где стал заведовать кафедрой математики (впоследствии – математического анализа). А Борис Гнеденко поступил в аспирантуру в Московском университете к А. Я. Хинчину и А. Н. Колмогорову. Он защитил в 1937 г. кандидатскую, а в 1941 г. – докторскую диссертации.

Но связи между ними все последующие годы не прерывались. Они переписывались, делились семейными и научными новостями. Так, в 1942 г. Гнеденко узнал, что сына Боевых Никиту призвали в армию и направили в бронетанковое училище. Встречались они и лично, в частности на организованном Б. В. Гнеденко Третьем всесоюзном совещании по теории вероятностей и математической статистике в Киеве в сентябре-октябре 1953 г. Наблюдается явный синхронизм и взаимодействие Гнеденко и Боева при осуществлении крупных издательских проектов: их книги взаимно дополняют друг друга.



Фрагмент фотографии доски почета Ивановского текстильного института, начало 1930-х гг. (Архив Саратовского университета. Дело Г. П. Боева)

### Историки математики

В 1946 г. Б. В. Гнеденко выпустил капитальную книгу «Очерки по истории математики в России». А спустя год, в 1947 г. вышла адресованная учителям математики средних школ книга Г. П. Боева «Беседы по истории математики», в которой изложение математической истории ведется с древнейших времен. Сохранился экземпляр книги Б. В. Гнеденко с дарственной надписью: *«Дорогому семейству Боевых в память о светлых днях ивановской жизни. 15.II.47. Б. Гнеденко»*.

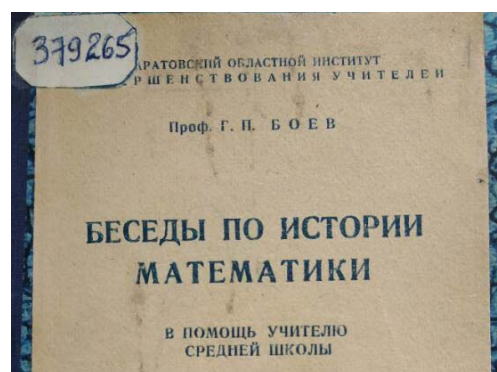
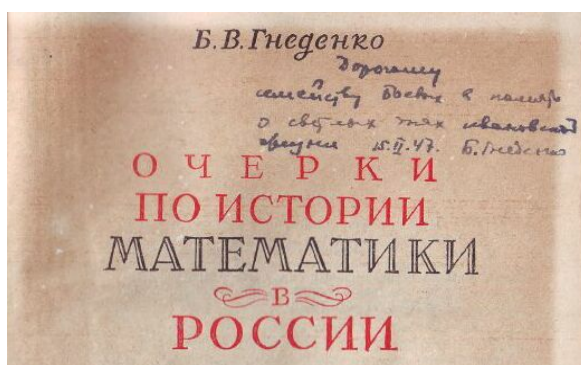
### Авторы учебников по теории вероятностей

Широко известен фундаментальный «Курс теории вероятностей» Б. В. Гнеденко, выдержавший с 1949 г. 13 изданий на русском языке. Опять же через год, в 1950 г., вышел в свет учебник Г. П. Боева «Теория вероятностей», причем, как отмечено на титульном листе, «при редакционном участии действительного члена АН УССР Б. В. Гнеденко». В предисловии к книге автор своей ставил целью «составление руководства для первоначального, но серьезного ознакомления с теорией вероятностей лиц естественнонаучного профиля – математиков, физиков, астрономов, механиков, химиков, инженеров». В этом контексте она, как представляется, служила определенным приложением к книге Б. В. Гнеденко, включая задачи-схемы, к которым сводились конкретные физические задачи. Рецензировал учебник Г. П. Боева академик А. Н. Колмогоров.

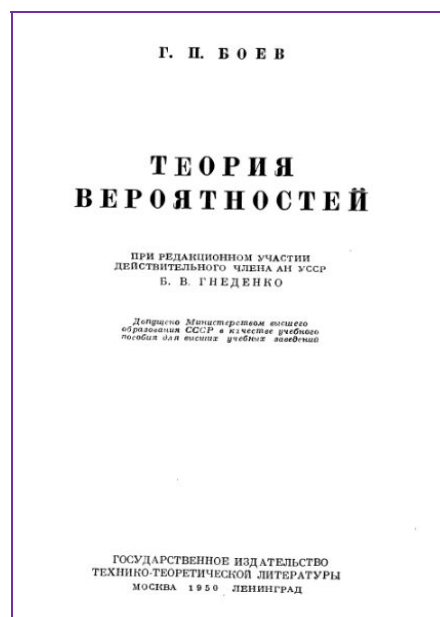
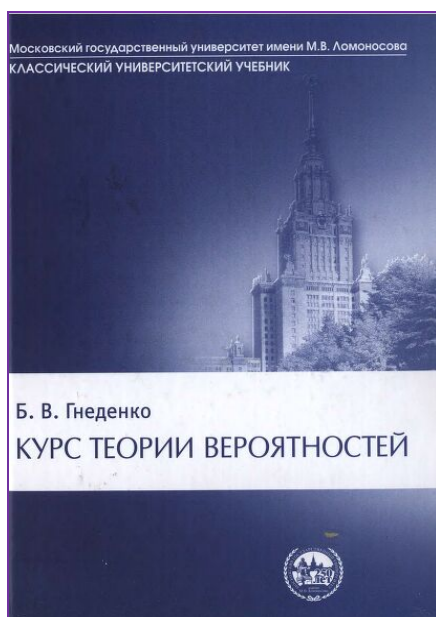




На совещании по теории вероятностей (Киев, 1953): Б.В. Гнеденко – третий справа в первой ряду, Г. П. Боев – справа в последнем ряду (на фоне чаши) [8, с. 264]



Фрагменты обложек книг Б. В. Гнеденко и Г. П. Боева по истории математики



Книги Б. В. Гнеденко и Г. П. Боева по теории вероятностей

**Вместо заключения**

На долю Бориса Владимировича в 1959 г. выпало написание некролога в связи со смертью Г. П. Боева [9]. Содержательный текст отражает все основные этапы биографии Георгия Петровича, «энергичного, разностороннего и преданного делу» человека, а также сопровождается списком из 40 его работ. В воспоминаниях Б. В. Гнеденко [8] Г. П. Боеву отведено также немало строк.

**Список литературы**

1. Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2018. Т. 18. Вып. 1. С. 64–79. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2018-18-1-64-79>
2. Аникин В. М. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26. № 6. С. 5–19. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-6-5-19>
3. Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022. Т. 22. Вып. 1. С. 82–96. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2022-22-1-82-96>
4. Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022. Т. 22. Вып. 2. С. 170–188. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2022-22-2-170-188>
5. Аникин В. М. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022. Т. 22. Вып. 3. С. 266–284. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2022-22-3-266-284>
6. Аникин В. М., Гнеденко Д. Б., Федорова М. А. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2023. Т. 23. Вып. 1. С. 68–98. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2023-23-1-68-98>, EDN: WJJAUS
7. Гнеденко Д. Б., Аникин В. М. Научная школа Б. В. Гнеденко: принципы деятельности // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2022 : материалы 10-го Международного симпозиума и 26-й Молодежной научной школы Saratov Fall Meeting – 2022. Саратов, 26 – 30 сентября 2022 г. / под ред. проф. Г. В. Симоненко и члена-корр. РАН В. В. Тучина. Саратов : Саратовский источник, 2022. С. 56–62.
8. Гнеденко Б. В. Воспоминания: Моя жизнь в математике и математика в моей жизни / под ред. Д. Б. Гнеденко. Изд. 2-е. М. : ЛЕНАНД, 2015. 624 с.
9. Гнеденко Б. В., Чудаков Н. Г. // Известия вузов. Математика. 1960. № 1. С. 245 – 248.

**РАЗВИТИЕ ИНТЕРЕСА К ФИЗИКЕ В ОБЩЕМ КУРСЕ**

М.А. Старшов

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
**DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-97-98**

Рассмотрены некоторые нестандартные методические приёмы в преподавании физики в высшей школе. Материал может быть использован лектором по курсу физики, а также студентами в самостоятельной работе и подготовке выступлений на студенческих научных конференциях.

Каждый раздел физики оперирует и определяется своим набором специфических фундаментальных постоянных. Это такие узловые точки в познании Природы, которые не выводятся теоретически и только эксперимент может дать численное значение. Лишь для некоторых мировых констант можно выразить словами, как говорится, физический смысл, но невозможно понять, почему имеет именно такое значение гравитационная постоянная или скорость света.

По мере развития физики порой оказывается, что какая-нибудь из таких констант не просто связана с другими, но представляет собой комбинацию из них, к удовольствию физиков, поскольку для науки важно уменьшение числа этих не определяемых величин.

Для преподавателя и лектора по курсу общей физики может оказаться полезным своеобразный тест, привлекающий внимание студентов и стимулирующий интерес к науке, в виде закодированного описания некоторых важных мировых постоянных.

1. Среди известных физикам фундаментальных постоянных есть одна моя любимая. У неё много родственников, даже бесконечно много, и она среди них наибольшая. Но по своему смыслу она – минимальна.

Называется она...

\*\*\*\*\*

2. Константа эта в некотором смысле лидер своей компании, и настолько безразмерна, что скрывает в себе три фундаментальных постоянных, степеней известных.

Она не любит имя своего родителя...

Называется она...

\*\*\*\*\*

3. Эта фундаментальная старушка так важна и универсальна, что при своём самом мелочном характере проникла даже в российский анекдот.

Называется она...

\*\*\*\*\*

4. На корке этого большого арбуза неоднократно поскользнулся известный профессор знаменитого Стэнфорда [1, 2].

**Возраст:** 13.7 миллиардов лет

**Размер наблюдаемой части Вселенной:** 13.7

миллиардов **световых** лет, примерно  $10^{28}$  см

**Средняя плотность вещества:**  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>

**Вес:** более  $10^{50}$  тонн

Легко подсчитать порядок «веса» Вселенной,  $84 \cdot 29 = 55$  или 49 в тоннах,  $10^{49}$  т. Где ещё порядок, ещё одна десятка? Кажется, профессор умножил вычисленную массу Вселенной («арбуза») в граммах или в тоннах на 9,8, на величину ускорения свободного падения у поверхности нашей планеты, в Международной системе единиц. Один раз ошибиться можно, но этот слайд без изменений присутствует в различных записях лекций профессора. Говорят, что нет ничего полезнее ошибки гения, и этот пример может использоваться в работе со студентами.

## МИКРООПЫТ ПО ОПТИКЕ

М.А. Старшов

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-98-100

Простой и всем доступный эксперимент не требует никакого оборудования и может оказаться очень полезным при изучении оптики, особенно в условиях дистанционного обучения.

На недавней конференции о роли творчества по физике в средней школе известный учитель-методист в начале первого доклада показал одну из работ его учеников. В нижнем углу виден компакт-диск с цветной полоской (рис. 1).

Когда-то новинку-диск подвешивали в кабинах грузовиков у ветрового стекла, и они эффектно вспыхивали на солнце. Этот снимок легко повторить (рис. 2).

Уже это интереснее того, что показал на конференции известный учитель. Красная полоса справа широкая и идёт дугой, а слева красной кажется часть радиуса. Но если продолжить исследование, то будет эффект ещё более впечатляющим (рис. 3).

Здесь можно заметить вторую синюю дугу, как часть дифракционного спектра второго порядка. Проблемную ситуацию может создать на занятии по оптике, где хорошо заметны дуги второго порядка синего и зелёного цвета при полном отсутствии красного (рис. 4).

А ведь для этого опыта, даже не опыта, а просто наблюдения, не нужно вообще ничего! Одна лампочка под потолком, фотокамера и старый, никому не нужный компакт-

диск на коленях. Всё! Впрочем, можно продолжить эксперимент, используя в качестве источника света сигнальную неоновую лампочку или воспользоваться светом от уличного фонаря. При некоторой изобретательности можно наблюдать кольцевой линейчатый спектр газового разряда. Дифракционная решётка для спектрального прибора стоит гораздо дороже.

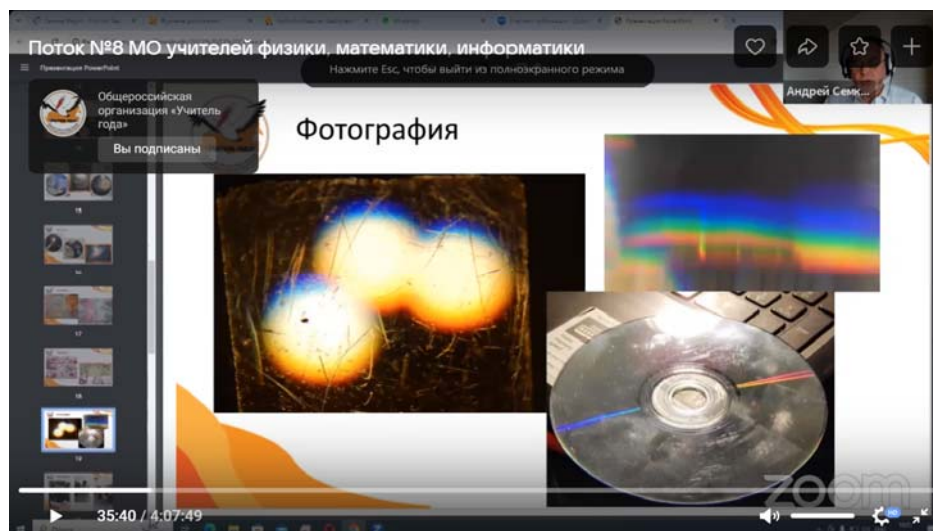


Рис.1. Слайд из доклада А.И. Семке. Ноябрь 2023 г.



Рис.2. Простой вид дифракции на компакт-диске.



Рис.3. Простой вариант кольцевой дифракции.



Рис.4. Дифракционный кольцевой спектр.

Понятно, что есть большая наука, но что бы она делала сегодня, если бы двести лет назад Этьенн Малю не посмотрел внимательно на простое оконное стекло, а Судьба не вставила бы это стекло в оконную раму, расположив это окно под нужным углом, почти единственно возможным. Это было началом в истории смартфонов и ЖК-мониторов. История никого не учит, но наказывать может, если её не уважать.

**Список литературы**

1. [https://m.vk.com/club\\_teacher\\_of\\_russia?from=groups](https://m.vk.com/club_teacher_of_russia?from=groups) развитие навыка внимательного чтения любого текста
2. <https://www.youtube.com/watch?v=L22Y9KAjeN8>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=0Sqn7L8UX5c>



**ФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ****НАВСТРЕЧУ 300 – ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК.  
КНЯГИНЯ Е.Р.ДАШКОВА: СЛУЖЕНИЕ РОССИЙСКОЙ НАУКЕ И  
ПРОСВЕЩЕНИЮ**

Б.А. Медведев

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-101-101

В 2023 году исполнилось 280 лет со дня рождения княгини Екатерины Романовны Дашковой, сподвижнице Екатерины II. Доклад посвящен выдающейся деятельности Е.Р. Дашковой во главе двух академий - императорской Санкт-Петербургской Академии наук и Российской Академии. Последняя была создана по инициативе Дашковой для развития и процветания российской словесности и превращения русского языка в один из великих в Европе. Выдвижению Е.Р. Дашковой на роль главы двух академий предшествовали отъезд за границу и жизнь в Европе в течение которых она знакомилась культурой и искусством, наукой и образованием, экономикой и политикой - Франции и Германии, Бельгии и Голландии, Англии и Шотландии, Швейцарии и Италии. Не будучи дипломатом, фактически, - для иностранцев она олицетворяла собой Россию с политикой просвещённого абсолютизма, проводимой российской императрицей. Этому содействовали её блестящее образование, энциклопедичность, свободное владение французским и немецким, английским и итальянским. Она писатель и переводчик, поэт и высокий знаток живописи и архитектуры, театра и музыки. Поэтому, неудивительно, что её собеседниками являлись крупнейшие представители эпохи просвещения, ученые и философы, общественные деятели и главы государств. Е.Р. Дашкову принимали с почётом: Ф.-М.-А. Вольтер и Д. Дидро, Ж.Л. Даламбер и Б. Франклин, А. Фергюсон и У. Робертсон, Д. Блэк, А. Смит и Дж. Локк, король Пруссии Фридрих II, австрийский канцлер В.А. Кауниц, Иосиф II и Папа Римский Пий VI. В докладе, в качестве ярких примеров научно-просветительской, издательской, и административно хозяйственной деятельности академии, приведены фрагменты отчетов Е.Р. Дашковой - Екатерине Великой. В том числе, организация публичных лекций академиков по математике, физике, минералогии, и естественной истории, издание первого в России шести- томного, толкового Словаря Академии Российской, полное собрание сочинений М.В. Ломоносова, учреждение целого департамента переводчиков лучших произведений мировой литературы, издание журналов «Собеседник любителей русского слова», «Новые ежемесячные сочинения» и сборника «Российский театр». Престиж российских академий за 12 лет руководимых Е.Р. Дашковой, как внутри страны, так и за рубежом неизмеримо возрос. Екатерина Романовна стала членом Американского философского общества, берлинского Общества естественной истории, Ирландской королевской и Королевской Стокгольмской академий.

В заключение доклада, после приведенных ярких высказываниях А. И. Герцена и А.С. Пушкина о Дашковой, представлены глубокие мысли Екатерины Романовны о воспитании юношества и просвещении разума и сердца в свете традиционных, духовных ценностей и любви к России.

**Список литературы**

1. Воронцов-Дашков А. И. Екатерина Дашкова: Жизнь во власти и опале. М.: Молодая гвардия, 2010. 336 с
2. Тычинина Л. В., Бессарабова Н. В. «...Она была рождена для больших дел»: Летопись жизни княгини Е. Р. Дашковой. М.: МГИ им. Е. Р. Дашковой, 2009. 328 с
3. Лозинская Л. Я. Во главе двух академий. 2-е изд. М.: Наука, 1983. 144 с.

## ШЕСТЬДЕСЯТ ЛЕТ МЕТОДУ КОГЕРЕНТНЫХ СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ

А.В. Горохов

*Самарский государственный университет имени С.П. Королёва, Россия, Самара*

DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-102-103

Понятие когерентности возникло в классической оптике, где было установлено, что световые волны когерентны, если они могут интерферировать. В наиболее общем виде явления когерентности описывается на языке корреляционных тензоров поля, введенных Эмилем Вольфом, который совместно с Максом Борном опубликовал широко известный учебник «Основы оптики». Этот формализм позволил последовательно описать большой круг эффектов, таких как опыт Юнга, кольца Ньютона, интерферометр Майкельсона, интерференцию света на тонких пленках и ряд других. Создание лазеров в 60-е годы XX века открыло новую эпоху в оптике. Для объяснения когерентных свойств лазерного излучения возникли трудности, поскольку для процессов поглощения и излучения использовался фоковский базис. В этом базисе число фотонов в моде является определенным, а фазы состояний являются неопределенными и на их основе невозможно адекватно описать когерентность. Эту трудность удалось преодолеть в 1963 г. Р. Глауберу введением системы когерентных состояний  $\{|\alpha\rangle\}$ . Когерентное состояние (КС)  $|\alpha\rangle$  определено уравнением [1]:

$$\hat{a}|\alpha\rangle = \alpha|\alpha\rangle, \quad (1)$$

здесь  $\hat{a}$  оператор уничтожения [2], а  $\alpha = |\alpha|e^{i\theta}$  – любое комплексное число. КС  $|\alpha\rangle$  может быть задано разложением по фоковскому базису

$$|\alpha\rangle = \exp(-|\alpha|^2/2) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\alpha^n}{n!} |n\rangle, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

два когерентных состояния не ортогональны  $\langle\alpha|\beta\rangle^2 = \exp(-|\alpha-\beta|^2)$  и выполняется соотношение полноты  $\frac{1}{\pi} \int |\alpha\rangle\langle\alpha| d^2\alpha = \hat{1}$ ,  $d^2\alpha = d(\text{Re } \alpha) \cdot d(\text{Im } \alpha)$ . Это соотношение было использовано Глаубером и независимо Е. Сударшаном для диагонального представления матрицы плотности квантовой системы  $\hat{\rho} = \int P(\alpha) |\alpha\rangle\langle\alpha| d^2\alpha$ , где  $P(\alpha) \equiv P(\alpha, \bar{\alpha})$  – функция плотности квазивероятности. В одномодовом случае матричный элемент  $\langle\alpha|\hat{E}|\alpha\rangle = \vec{E}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi)$ ,  $\vec{E}_0 = 2\sqrt{2\pi\hbar\omega c^2/V} |\alpha| \vec{e}$ ,  $\hat{E}$  – оператор напряженности поля,  $V$  – объем, а  $\vec{e}$  – вектор поляризации. Именно это свойство КС было использовано Глаубером при последовательном квантовом описании когерентных свойств лазерного излучения. КС нашли многочисленные применения не только в квантовой оптике. В 2005 г. Р. Глаубер стал лауреатом Нобелевской премии за вклад в квантовую теорию оптической когерентности.

## Список литературы

1. Glauber R.J. // Phys. Rev. 1963. Vol. 130. P. 2529 – 2539.
2. Скалли М.О., Зубайри М.С. Квантовая оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

## НЕОБРАТИМОСТЬ ВРЕМЕНИ В УРАВНЕНИЯХ НЬЮТОНА И ШРЕДИНГЕРА

В.И. Цой

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-103-103

Принято считать, что в динамике волн и частиц нет запрета на обратное течение времени, «Уравнения механики инвариантны по отношению к перемене знака времени, т.е. по отношению к замене будущего прошедшим. Другими словами, в механике оба направления времени эквивалентны. Это значит, что если согласно уравнениям механики, возможно, какое-нибудь движение, то возможно и обратное движение, при котором система проходит те же состояния в обратном порядке»[1]. «В динамике, будь то классическая, квантовая или релятивистская динамика, время выступает лишь как внешний параметр, не имеющий выделенного направления. В динамике нет ничего такого, что позволяло бы отличать прошлое от будущего»[2]. В теории излучения решение В. Ритца с опережающими потенциалами, реконструирует динамику поля по его распределению, в любой фиксированный момент времени в будущем. По мнению А. Эйнштейна эти решения не должны отбрасываться, так как «необратимость покоится исключительно на вероятностных основах» [3]. В этой связи нужно заметить, что такое важное явление, как обращение волнового фронта, может рассматриваться как процесс с обратным течением времени [4].

Однако в данной работе приведена такая интерпретация динамики, в которой есть запрет на обратное течение времени. Учитывая, что механическая сила, вызывающая ускорение по динамическому закону Ньютона, является скоростью изменения импульса, можно показать, что для обратного во времени движения частицы по состояниям, задаваемым классически координатой и импульсом, требуется дополнительно изменить знак массы, полагая ее отрицательной. В случае потенциальной силы это означает также, что потенциальная функция также должна изменить знак при обращении движения во времени. Показательно, что уравнение Шредингера, описывающее динамику состояний, задаваемых волновой функцией квантовой частицы, остается справедливым при обращении течения времени также только в том случае, если одновременно обратить знаки для массы и потенциальной функции.

Приведенные доводы о запрете обратимости времени в уравнениях классической и квантовой механики показывают, что инверсия времени в динамических уравнениях физики должна рассматриваться лишь как весьма полезная операция, которая, однако, не имеет непосредственного отношения к реальному ходу времени только в одном направлении.

## Список литературы

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля, М.: Наука, 1988. 512с.
2. Пригожин И. Р. От существующего к возникающему. М.: Наука .1985. 328 с.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3, Наука. 1966. С.181
4. Зельдович Б. Я., Пилипецкий Н. Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта М.: Наука. 1985. 247с.

## О ДОКАЗАТЕЛЬНОСТИ В ФИЗИКЕ И В МАТЕМАТИКЕ

В.В. Розен

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-104-104

1. Многие физики обращали внимание на то обстоятельство, что крупные успехи в физике достигались благодаря удачному синтезу эмпирических наблюдений с математическими конструкциями. Самые яркие примеры этого – общая теория относительности и квантовая механика. Математика является естественным языком физики. При этом, начиная с эпохи Античности, логическим ядром самой математики служит понятие доказательства. Именно доказательность математических утверждений обеспечивает математике ее приоритетное место в физике и в других разделах естествознания.

Однако, существовавшее в прошлые века представление о математическом доказательстве как об «абсолютной истине» в настоящее время оказалось поколебленным. Первый удар по этим представлениям был нанесен около ста лет тому назад, когда была установлена неосуществимость «программы финитизации математики», то есть невозможность строго логического доказательства всех ее фактов. В 1931 г. австрийский логик Курт Гёдель установил следующий принципиальный результат: если непротиворечивая теория содержит арифметику, то в ней найдется такое утверждение, что ни оно само, ни его отрицание недоказуемы в этой теории.

2. Заметим, что чисто формализованные доказательства почти не встречаются в математических работах: при проведении математических доказательств авторы, как правило, «опускают» часть рассуждений, заменяя их словом «очевидно». Даже в классических областях математики, построенных на аксиоматической основе, таких, как элементарная геометрия Гильберта, были обнаружены пропущенные логические конструкции.

В последние десятилетия в прикладных областях математики в качестве математического доказательства принимается вычислительный эксперимент, производимый с помощью компьютеров. Также компьютеры используются для проведения доказательств и в некоторых разделах чистой математики (например, доказательство гипотезы четырех красок в теории графов). Это обстоятельство снижает статус абсолютной истинности математического доказательства и ставит математику в один ряд с некоторыми разделами естествознания. Из сказанного следует, что значимость понятия формального доказательства в рамках самой математики нельзя преувеличивать.

3. Переходя от математики к физике, необходимо отметить, что ключевое для математики понятие доказательства в рамках физики должно быть существенно трансформировано. Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, с тем, что всякая математизированная область физики представляет собой модель физической реальности, а никакая модель не тождественна оригиналу. Во-вторых, со снижением статуса доказательства в рамках самой математики, о чем говорилось выше. Поэтому чисто математическое (формальное) доказательство, проведенное в рамках математизированной физической теории, не может быть принято, если оно противоречит сложившимся физическим представлениям или результатам эксперимента.

Аналогичное заключение следует сделать и в отношении развития физических идей: хотя физика немислима без математики и математических понятий, она развивается не с помощью математической логики, а с помощью физической интуиции.

**АРКАДИЙ ДМИТРИЕВИЧ ЗАКРЕВСКИЙ – КИБЕРНЕТИК.  
К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

Ю.А. Бродская

*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/ci-37145-2023-1-105-106

Аркадий Дмитриевич Закревский, доктор технических наук, профессор, член-корр. НАН Беларуси, академик Международной академии информации. Стоял у истоков рождения кибернетики в СССР и основал одну из самых известных школ логического проектирования в СССР и в мире. В научном творчестве он сочетал широту охвата рассматриваемой проблемы (до поиска аналогий в соседних областях) со строгостью и глубиной исследования (с предложением практически эффективных методов её решения, доведённых до алгоритмической и даже программной реализации). Хотя научные интересы Закревского А.Д. затрагивали многие области науки, наиболее значителен его вклад в математическую кибернетику и дискретную математику, и наиболее значимые результаты получены, в первую очередь, в логической теории дискретных устройств. Ученым был предложен матричный аппарат для логического анализа, синтеза и диагностики дискретных устройств на базе программируемых логических матриц, результаты этих исследований были представлены в его монографии [1]. Работы Закревского, посвященные автоматизации программирования логических задач известны и в нашей стране, и за рубежом. Аркадий Дмитриевич занимался проблемой автоматизации логического проектирования: построение эффективных методов минимизации и реализации полностью и слабо определённых булевых функций многих переменных. Им также разрабатывались логические основы систем искусственного интеллекта — методы решения больших систем логических уравнений; обобщение методов теории булевых функций на конечные предикаты; методы индуктивного и дедуктивного вывода в приложении к распознаванию образов в пространстве бинарных и многозначных признаков; выявление имплицативных закономерностей в этих пространствах. Неоспорим вклад Закревского в решении комбинаторных задач дискретной математики. Результаты его исследований лежат в основе программной и аппаратной реализации параллельных алгоритмов управления и экспертной системы логического распознавания. Работы Закревского применимы к реализации тестового подхода распознавания образов в различных приложениях, в том числе, в задачах медицинской диагностики. Так, с помощью всего множества тупиковых тестов определяются характеристики признаков, информативных для распознавания, (информационные веса) для создания списка признаков при формировании их диагностического набора; для использования в качестве одного из сомножителей в весовых коэффициентах объектов, как эталонных, при распознавании образов. Значение весовых коэффициентов важно для задач распознавания (и обучения) на множестве эталонных объектов в диагностике неисправностей технических устройств, где признаки упорядочивают по уменьшению информативности. Из ранжированного списка отбирают для описания обучающей последовательности наиболее информативные признаки. В работах Закревского отбор признаков производится по их разделяющим свойствам эвристическим «алгоритмом наискорейшего спуска». В нём на каждом итерационном шаге в подматрице матрицы различий со строками, оставшимися непокрытыми на предыдущих итерационных шагах, выбирается столбец с наибольшим количеством единиц. Приближенные решения получают с помощью алгоритма построения кратчайшего покрытия [1], в котором очередной столбец для покрытия выбирается из столбцов матрицы, каждый из которых покрывает строку (хотя бы одну) с наименьшим числом единиц. Приближенные решения уточняют посредством «алгоритма комбинаторного поиска» [1], перебором, который может быть достаточным для получения кратчайшего покрытия, но вызывает большие затраты ресурсов ЭВМ. Сокращение перебора достигается правилами удаления из булевой матрицы на каждом итерационном



шаге покрытия поглощающих строк и поглощаемых столбцов (или поглощающих столбцов и поглощаемых строк при строковом покрытии столбцов). Выполнение этих правил целесообразно при формировании всего множества тупиковых тестов, но не всегда приводит к существенному сокращению размеров матрицы различий [1,2], оправдывающему эти затраты, когда формируется только один тест.

#### Список литературы

1. Закревский А.Д. Логический синтез каскадных схем. М.: Наука. 1981. 416с.
2. Бродская Ю.А. О методах формирования кратчайших покрытий небулевых матриц// Материалы пятой международной конференции (CAD DD' 04) «Автоматизация проектирования дискретных систем», 16-17 ноября 2004. Т.1. С. 162-170.

## ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ СТАФЕЕВ РАЗРАБОТЧИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

А.Г. Роках

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-106-106

1 января 2009 года сотрудники НПО «Орион» и научно-техническая общественность России отметили 80-летие профессора Виталия Ивановича Стафеева (1929-2013), выдающегося ученого в области физики и применения полупроводниковых приборов. Виталий Иванович родился в 1929г, в селе Красносельское Акмолинской области Казахской ССР. После окончания университета в г. Алма-Ата его направили в Ленинград в Физико-технический институт АН СССР, где он успешно закончил обучение в аспирантуре у профессора Д.Н. Наследова, совместно с Ж. И. Алфёровым и Б. В. Царенковым.

В 1964 г. он был назначен первым директором «НИИ физических проблем» Академии наук Министерства электронной промышленности во вновь созданном центре микроэлектроники в Зеленограде под Москвой. В 1969 г. начал работать начальником отдела в НИИ прикладной физики Министерства оборонной промышленности ныне государственное унитарное предприятие НПО «Орион», головное предприятие страны по приемникам инфракрасного излучения, и там проработал до конца своих дней.

В работах Виталия Ивановича Стафеева значительное внимание уделено фундаментальным процессам в полупроводниковых и диэлектрических структурах. Им разработаны принципы функциональной электроники с использованием инжекционно-плазменной объемной связи. Под его руководством, проведена разработка и организовано промышленное производство нового перспективного полупроводника теллурида кадмия-ртути (КРТ) и высокоэффективных матричных фотоприемников на его основе для тепловидения. За свои работы в области электроники Виталий Иванович Стафеев был дважды удостоен Государственной премии СССР (1976 и 1982 гг.), Государственной премии РФ (2002 г.) и правительственных наград.

Виталий Иванович, профессор Ленинградского политехнического института, заведующий кафедрой Московского физико-технического института (МФТИ) вел большую педагогическую работу. Его научно-организационная деятельность отличалась многогранностью: организация симпозиумов, семинаров, конференций. Он был членом редколлегии журналов «Радиотехника и электроника», «Физика и техника полупроводников», принял участие в создании журнала «Микроэлектроника». Созданная им научная школа насчитывает 25 докторов и 70 кандидатов наук, среди которых несколько лауреатов Государственных премий СССР и РФ.

Виталий Иванович Стафеев, при всех своих заслугах, оставался сердечным, доброжелательным человеком, всегда пользовался заслуженным уважением коллег, излучая не только научные идеи, но и человеческое тепло.

**ПУЛЬСАРЫ НАУЧНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИРОДЫ  
РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ В XVIII СТОЛЕТИИ**

В.В. Аникин

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-107-107

К числу выдающихся исследователей природы Российской Империи в XVIII, раскинувшейся от Прибалтики до Командорских островов, относится когорта русских и российских иностранных ученых чьи имена вписаны на века в скрижали истории государства. Это действительные члены и академики Петербургской академии наук – Крашенинников С.П., Ломоносов М.В., Фальк И.П., Лаксман Э.Г., Паллас П.С., Гмелин С.Г., Георги И.И., Гюльденштедт И.А., Зуев В.Ф., Соколов Н.П. и др. В трудах этих крупнейших ученых использованы и осмыслены собственные наблюдения из экспедиций по различным провинциям и сторонам Российского государства.

Для многих иностранных ученых Россия стала вторым отечеством, впрочем, и государство обязано этим служителям науки исследованием своих природных богатств и быта населявших ее народов в XVIII столетии. Каждый из этих ученых блистал на небосклоне зарождающей зари российской науки своими открытиями и изысканиями, а европейский научный бомонд с удивлением и почтением относился к новым открытиям из России. Не смотря на время публикаций вышедших трудов ученых, ими пользуются и наши современники, некоторые из этих трудов до сих пор находятся ещё в рукописях, а часть только в оригиналах публикаций. Так, эпохальный труд Палласа П.С., вышедший на латинском языке «*Zoographia Rosso-Asiatica*» является первым систематическим описанием фауны России и началом всей российской зоологической науки, хотя этот капитальный труд до сих пор не переведён на русский язык. Тем не менее, фундамент в становлении российской науки в разных ее областях закладывался именно этими учеными, чьи изыскания и наработки будут применяться сверенными и будущими исследователями природы Российского государства еще долгие годы.

Об этих ученых того времени блистательно высказался биограф профессора Крашенинникова С.П. – Николай Иванович Новиков, что это были граждане «... из числа тех, кои ни знатностью породы, ни благодеянием счастья возвышаются, но сами собою, своими качествами, своими трудами и заслугами прославляют свою породу и вечного воспоминания делают себя достойными» (Новиков, 1772).

**Список литературы**

1. Аникин В.В. Палласовский свет знаний в науку Российского государства// Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2021: материалы Международного симпозиума и Международной молодежной научной школы SaratovFallMeeting 2021 / Под ред. Г.В. Симоненко, В.В. Тучина. Саратов: Изд - во «Саратовский источник», 2021. С. 99-100.
2. Новиков Н.И. Опыт исторического словаря о российских писателях. Из разных печатных и рукописных книг, сообщенных известий, и словесных преданий словаря собрал Николай Новиков. Санкт-Петербург [типография Академии наук], 1772. 264 с.

**ЗИНИН НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ. МОЛЕКУЛЫ ИСТОРИИ**

В.В. Сорокин

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-108-108

Зинин Николай Николаевич – русский химик, академик Петербургской академии наук – выдающаяся личность, стоявшая на пересечении исторических событий. В 1820 году он поступил на учёбу в Саратовскую мужскую гимназию, где с 1823 по 1825 гг. директором был И.П.Менделеев – отец будущего создателя Периодической системы. Позже, уже будучи членом академии наук, Н.Н.Зинин принимал участие в судьбе молодого учёного Дмитрия Ивановича Менделеева, а затем вместе с ним создавал Русское химическое общество.

Зинин много сделал для химии, но важнейшая реакция, открытая им – восстановление нитробензола в анилин – основа для создания лекарств, красителей, пестицидов, взрывчатых вещества, полимеров и др. Совместно с В.Ф.Петрушевским он разрабатывал эффективный способ синтеза тринитроглицерина. Зинин давал уроки юному Альфреду Нобелю. Ходит легенда, что Нобель подсмотрел у русского химика идею пропитывать пористые материалы тринитротолуолом, изобретя впоследствии динамит. На самом деле в конце 19 века наблюдался бум в изучении бездымных порохов и взрывчатых смесей, многие видные исследователи работали параллельно. Например, Д.И.Менделеев описал способ получения бездымного пороха, однако так и не добился государственного финансирования его производства, а разработанный им рецепт использовался впоследствии в Америке для вооружения Северо-Американского флота. Царская Россия отставала в военном деле, что послужило одной из причин её поражения в Первой мировой войне и последующей революции [1]. Нобель же вложил в изучение взрывчатки значительные средства и усилия, преодолевая гонения и трагические неудачи. Одним из источников дохода Нобелей в то время служила нефтепромышленная акционерная фирма «Бранобель», учреждённая в Баку в 1879 г. В городе Саратове находилась контора Нобелей, а в районе пос. Улеша были их нефтехранилища и завод по переработке мазута [2]. Д.И.Менделеев критически относился к некоторым аспектам деятельности Нобелей и даже вступал с ними в публичную полемику. Тогда же появилась его фраза: «Нефть – не топливо! Топить можно и ассигнациями!». После революции Нобели уехали из России, их нефтяной бизнес был национализирован для построения нефтяной инфраструктуры молодой страны.

Академия наук, не избалованная финансированием при Царской России, после революции оказалась в уязвимом положении. Однако В.И.Ленин предостерег революционеров от её разрушения, понимая важность науки. Брат Ленина – Александр Ульянов – казнённый при царе за подготовку к теракту, в своё время увлекался химией и тоже занимался изготовлением динамита.

Таким образом, химия нитросоединений легла в основу не только технического прогресса, но и послужила двигателем политических перемен начала 20 века. Одна из центральных фигур этих исторических событий – академик Н.Н. Зинин, а часть пазлов истории принадлежит Саратову.

**Список литературы**

1. Соболев В.С. Нести священное бремя прошедшего. Российская академия наук: национальное культурное и научное наследие. 1880-1930 гг. - СПб.: Нестор-История. 2012. 380 с.
2. Тридцать лет деятельности Товарищества нефтяного производства братьев Нобель 1879-1909. - СПб., 1914. 332 с.

## ОТ СТАНОВЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ НООСФЕРЫ В. И. ВЕРНАДСКОГО К ПНЕВМАТОСФЕРЕ П.А. ФЛОРЕНСКОГО

Б.А. Медведев<sup>1</sup>, Ю.А. Бродская<sup>2</sup><sup>1</sup>*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*<sup>2</sup>*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Россия, Саратов*

DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-109-110

В 2023 году исполнилось 160 лет со дня рождения Владимира Ивановича Вернадского (1863–1945) - российского, украинского и советского учёного - естествоиспытателя, мыслителя, академика Императорской Санкт-Петербургской академии наук (1912), президента Украинской академии наук (1918–1921), академика АН СССР, создателя научных школ по минералогии, геохимии и науки биогеохимии, одного из ярких представителей русского космизма.

Исходя из эмпирических обобщений эволюции биосферы В.И. Вернадский, пророчески опережая своё время, одним из первых пришел к представлению о научной мысли, как о планетном, и, следовательно, о космическом явлении и о становлении человечества, как геологической силы [1]. В 1922 - 1923г. в Сорбонне, на лекциях Вернадского по биогеохимическим явлениям в биосфере его слушателями были известные французские ученые: математик и философ Э. Леруа [2] и философ, теолог и палеонтолог Тейяр де Шарден [3]. Позже в 1927 году, Э.Леруаввел понятие ноосферы, как современной стадии, геологически переживаемой биосферой.

В докладе фрагментарно представлен интегративный подход авторов к сближению различных концепций и точек зрения о путях коэволюции человека и биосферы. Обсуждаются проблемы формирования ноосферы и её гипотетический переход к сфере духа – пневматосфере П. А. Флоренского [4] в условиях мирового духовного кризиса. Сложность и широта спектра дискуссионных вопросов сосредоточили внимание авторов на вопросах, что такое наши Сознание, Мысль, Разум, связанных с понятием ноосферы.

**Ноосфера:** В представлении о будущем Н.Н. Моисеева [5], в позитивном ключе, ноосфера – состояние развития биосферы в коэволюции с Homo Sapiens. Но что в реальности? – Глобальные проблемы предотвращения войн и нарушения гомеостаза биосферы. Человечество едва контролирует себя.

**Сознание:** У П.А. Флоренского «Человек – есть бесконечность». И прежде всего - это относится к метафизичности его сознания, космичность которого ассоциируется как с коллективным бессознательным К.Г. Юнга, так и более того с космическим бессознательным, пребывающим в структуре психики по В.В. Налимову. В этимологическом контексте слова сознание - его приставка указывает на содержание знания, причастного, как познающему, так и познаваемому. На метафорическом языке знание даруется человеку в его соавторстве с природой. Эволюция самопознания человека, в витках его рефлексии - возвращению к самому себе, обогащенного опытом перехода из настоящего в прошлое.

**Мысль:** По Мерабу Мамардашвили «мысль рождается из душевного потрясения». Рационализация этой мысли представляется в переходах из обыденного в изменённые состояния сознания, в силу космичности которого, «Мысль, или мышление, есть бесконечная сверхиндивидуальная реальность, динамическая континуальность, активность, непосредственно проистекающая от Бога» [2, С.241].

**Разум:** Его работа начинается с анализа, разрушающего познаваемое, и, только позже переходит к синтезу и, нередко к запоздалому пониманию человечества, подобно ребёнку, играющего с огнём великих открытий. Современники взлёта техногенной цивилизации не могут не видеть её тень, тень мирового духовного кризиса. XX век – век двух мировых войн и, первая четверть века XXI -го убеждают: «Претензия разумана

всеобъемлемость имеет вкус к ограниченности» /Л. Шестов/. Офорт Ф. Гойи «Сон разума рождает чудовищ». Так, не отбрасывает ли разум, забывший о человеческих чувствах, тень безумия?

Отдельному человеку можно приписать самосознание, но этого нельзя пока сделать с человечеством... Так, не рано ли говорить о ноосфере? Или уже поздно? По Н.Н. Моисееву остаётся всё меньше и меньше времени для перехода от самопознания человека самопознанию человечества. Проблема по Луи де Бройлю в том, «как нам пережить свои собственные открытия»... Из философских размышлений следует нравственный призыв к единству всех людей, к мужеству преодоления апокалиптических ожиданий, к вере в Homo Sapiens, в Коллективный разум, в любовь, как начало всех начал и, наконец, в просвещение, как в свет науки и разума. Да, многие из идей цитируемых нами работ не без оснований могут представляться утопическими. Но нельзя не согласиться с О. Уайльдом в том, что развитие человечества без утопических идей невозможно. Ноосфере В.И. Вернадского без пневмосферы П. Флоренского - без сферы духа и духовных исканий не сохраниться.

**К гипотетическому аспекту развития представления о ноосфере.** Принимая в качестве гипотезы мысль Леонардо да Винчи о том, что «не только свет, звук, магнетизм и запах, но и сама мысль распространяется волнами» [6, С.70], мы задаемся вопросом о гипотетическом построении «поверхности» волнового фронта мыслей вокруг планеты по принципу Гюйгенса. При этом не рассматривать ли нам в качестве точечных источников мыслей, великих представителей Homo Sapiens от Пифагора до Сократа, Платона, и Аристотеля и далее от Ньютона до Эйнштейна, Бора, и Шредингера и далее?.. Используя также представление Леонардо да Винчи об образах каждой вещи, в окружающем её воздухе мы полагаем возможным размышлять о ноосферах Академий и университетов, театров и музеев, и более того, о пневмосфере великих произведений искусства, одухотворяющих пространство Человека. Так, не на этом ли пути познания от частного к общему мы сможем найти переход от сферы разума Вернадского к сфере духа, названного П.А. Флоренским Пневмосферой?

**Заключение:** Результаты исследований В. И. Вернадского, Т. де Шардена, Э. Леруа, Н.Н. Моисеева и П.А. Флоренского рассматриваются в контексте их приложения для постановки и решения проблем ноосферного образования и просвещения. В этой связи авторами доклада используются, постулированные ранее в [7, С.191-192] следующие принципы просвещения: 1. Принцип просвещения языком искусства с нравственным императивом художественного восприятия мира. 2. Принцип неопределённости в познании, определяющем тенденцию к сближению двух культур. 3. Принцип культуры познания, в постановке вопроса о мере его самоограничения. 4. Принцип сохранения в просвещении феномена культурной памяти, как время хранилища традиционных человеческих ценностей.

Апология жизни - в формировании экологического и нравственного императивов, объединённых, по нашему мнению, А. Швейцером в одной его мысли о «безграничной ответственности за всё живое».

#### Список литературы

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. Москва: Издательство АСТ. 2022. 640 с.
2. Блауберг И. Леруа Эдуард //Философская антропология. 2021. Т. 7. № 2. С. 239 – 250.
3. Тейярде Шарден, Пьер. Феномен человека. Божественная среда. Москва: Издательство АСТ. 2022. 416 с.
4. Вернадский В.И. Переписка с Флоренским П.А. // Новый Мир. Москва. 1989. № 2. С. 194 -203.
5. Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика: Человек, природа и будущее цивилизации. Изд. 2-е М.; ЛЕНАНД. 2022. 256 с.
6. Марио Льюцци История физики. Москва: Мир. 1970. 464 с.
7. Медведев Б.А. XXI век: Просвещение в противостоянии антропологической катастрофе. Философия в современном мире: диалог мировоззрений: Материалы VI Российского философского конгресса (Нижний Новгород, 27 – 30 июня 2012 г.) В 3-х томах. Т. 2. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, 2012. С. 191- 192.



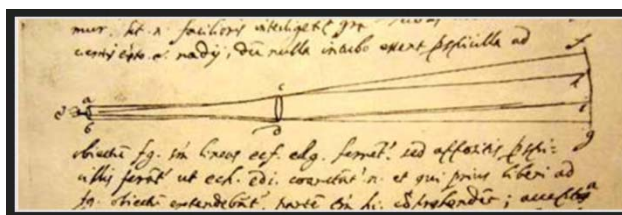
## ВЕЛИКИЙ ВЕК НАЧАЛ

М.А. Старшов

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/cl-37145-2023-1-111-111

В истории современной физики особое значение имеет XVII век, пасмурное утро европейской жизни, начавшееся костром Джордано Бруно 17 февраля 1600 года, а вскоре появился (в 1603 г) католический Индекс запрещённых книг. Но уже ничто не могло остановить развитие культуры и науки. Невозможно перечислить всех выдающихся людей этой эпохи, вот лишь некоторые: Декарт, Кеплер, Галилей, Паскаль, Гук, Гюйгенс, Ньютон, Лейбниц, Бернуллы, но и Шекспир, Сервантес, Лопе де Вега, Веласкес, Рембрандт, Свифт и Дефо, и даже настоящий Дартаньян.

Этими людьми и в это время начаты исследования по всем разделам классической физики. Гильберт в 1600 г изучает электричество и придумывает само слово *electricity*. Вскоре Галилей создаёт зрительную трубу – на рисунке видно, как он сам пытался понять принцип её устройства. Так начиналась не только оптика, но и подлинная астрономия.



Основы науки о движении созданы многими учёными, но особую роль сыграли Галилей (1564-1642) и Ньютон (1642-1727). Замечательно первое научное определение идеализированного движения оставил нам Галилей: «Движением равномерным... я называю такое, при котором расстояния, проходимые движущимся телом в любые равные промежутки времени, равны между собою». Здесь имеет глубокий смысл каждое слово, даже личное местоимение. Мысль гигантов этого времени проникала в суть проблем, как бы минуя привычную нам логику. Сегодня легко доказать утверждение Гюйгенса (1629-1695): «высоты падений относятся как квадраты приобретенных скоростей», но он смог это понять одной силой ума. Торричелли, Паскаль, Герике, Бойль закладывают основы науки о газах. Роберт Бойль устанавливает знаменитый закон, кажущийся в руках гения настолько простым, что его до сих пор неверно формулируют. В это же время зародилась научная периодика, роль журнала исполнял Марен Мерсенн (1588 — 1648), а затем возникло авторитетное Лондонское Королевское Общество.

Символично, что в начале века наблюдалась «хвостатая звезда», которую видел Кеплер, и такое же зрелище наблюдали в конце века и Ньютон понял, как она движется. А Галлей догадался, что это та же самая комета начала века и предсказал её появление в середине следующего столетия. И так случилось в 1758 г.



Любопытно, что в этот век развития науки писатель Дж. Свифт «получил степень бакалавра и пожизненное скептическое отношение к научным премудростям».

**РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ТРАНСФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОСТИ**

О.В. Шимельфениг

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-112-113

В настоящее время в условиях глобального мировоззренческого кризиса возрастает потребность в создании целостной духовно-психо-физической картины мира, опирающейся на междисциплинарную интеграцию гуманитарных наук и естествознания, одновременно учитывающей полицентричность восприятий и интерпретаций реальности. В качестве таковой автор предложил (основные публикации в 1983, 2005, 2021 гг.) сюжетно-игровую парадигму как систему мировоззренческих универсалий, связывающую современные научные концепции квантовой механики, общей теории систем, синергетики, ноосферы с представлениями о целостной картине Универсума, возникшей ещё в древних культурах (индийской, китайской и др.). До середины XX века подобное «организмическое» понимание природы считалось атавизмом, воспроизводящим полумифологическую картину мира, не совместную с современными научными представлениями. Но, когда В.И. Вернадский ввёл в научный контекст понятия биосферы и ноосферы, как целостных образований, содержащих взаимодействующие между собой подсистемы – неорганическую, биологическую и человеческого социума, то новое понимание этой целостности дало возможность по-другому увидеть, как традиционные восточные мировоззрения, так и идеи русского космизма. Стало очевидным, что человек становится средоточием природных, космических и социально-исторических сил, живым и сознательным соучастником трансформации реальности с вытекающей отсюда ответственностью за свои намерения, сценарии, проекты и действия по их осуществлению.

В докладе намечается исследование роли в этом процессе создания математических дисциплин (здесь на примере теории графов, теории вероятностей и теории игр), начинавшихся с попыток решения практических задач Л. Эйлером и Б. Паскалем.

Швейцарский и российский математик Леонард Эйлер в статье (изданной Петербургской академией наук в 1736 г.) о решении знаменитой задачи о кёнигсбергских мостах, первым применил идеи теории графов при доказательстве некоторых утверждений. Теперь – это раздел дискретной математики, изучающий графы, одна из ветвей топологии. В самом общем смысле граф – это множество точек (вершин, узлов), которые соединяются множеством линий (рёбер, дуг). Уже в XIX веке графы применялись при проектировании электрических цепей и молекулярных схем; математические развлечения и головоломки – тоже часть теории графов.

Самые ранние работы учёных в области теории вероятностей относятся к XVII веку. Исследуя прогнозирование выигрыша в азартных играх, Джероламо Кардано, Блез Паскаль и Пьер Ферма открыли первые вероятностные закономерности, возникающие при бросании костей. Якоб Бернулли дал доказательство закона больших чисел в простейшем случае независимых испытаний. Во второй половине XIX века значительный вклад внесли русские учёные: П. Л. Чебышёв, А. А. Марков и А. М. Ляпунов (доказаны: закон больших чисел, центральная предельная теорема, разработана теория цепей Маркова). Современный вид, как один из разделов математики, теория вероятностей получила благодаря аксиоматизации, предложенной А. Н. Колмогоровым. Математические модели на основе теории вероятностей и теории игр находят применение в экономике, политологии, социологии и психологии для объяснения, прогнозирования и управления человеческим поведением.

Язык математической теории отношений, разработанный профессором Саратовского университета В.В. Вагнером, оказался адекватен тем психологическим аспектам реальной жизни, которые искажаются числовыми оценками. На этом языке нам с

В.В. Розеном удалось найти решения некоторых типов игр на графах, построить многоуровневые игры и найти их решения, сконструировать абстрактные автоматы, реализующие оптимальное поведение в ситуациях, моделируемых искусственным интеллектом.

## **«ТОЧКА СТАРТА» В РАЗВИТИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ НАУКИ И ВОЗМОЖНОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ ПОЗНАНИЯ**

Ю.М. Дуплинская

*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/et-37145-2023-1-113-114

В современной науке имеет место парадигмальная революция, связанная с радикальной переориентацией фокуса внимания. Мысль перефокусируется от изучения объектов на изучение отношений между объектами. Ф. Капра сравнивает эту революцию с переходом от метафоры здания к метафоре сети. Картина реальности в данной парадигме уподобляется уже не составленному из «кирпичей» мирозданию (в роли которых ранее могли выступать как частицы в физике, так и организмы в биологии), но плетению сетей отношений. Любые изолированные объекты и структуры (тела и частицы, организмы и биологические виды, значения слов или терминов в естественных и искусственных языках) есть только узлы в сетях отношений (законов сохранения, экосистем, паттернов самоорганизации и т.д.).

Тем не менее, нельзя не учитывать, что стартовой точкой в истории европейской науки все-таки было изучение объектов, от которых мысль потом уже переходила к исследованию отношений между объектами. Европейская наука шла от частиц к законам сохранения симметрии; от организмов к экосистемам; от арифметики (число) к алгебре (отношения между числами); от семантики к синтаксису; от структур к паттернам. Вопрос в следующем: оказывают ли необратимое влияние те начальные условия, - стартовая точка, с которой начиналось познание, - на последующую структуру научных теорий? С позиций нелинейной динамики, это именно так. Тогда попробуем, в духе популярного ныне жанра «альтернативная история», представить возможность альтернативной ветви развития науки, где отправной точкой познания была бы не форма, а паттерн; не объект, а конфигурация отношений.

Намек на возможность другой стартовой точки в развитии науки и, соответственно, альтернативного пути научного знания, просматривается, например, в китайской классической Книге Перемен. Отправным пунктом для познания здесь были бы не отдельные объекты-вещи, как в науке европейской, а нечто, наподобие динамических паттернов: воспроизводящихся циклов в изменениях конфигураций состояний системы. Изучение динамических паттернов, к которому европейская мысль пришла на продвинутых стадиях развития, здесь могло бы стать началом в истории научного познания. В этом можно увидеть и возможность иной стартовой точки математического инструментария науки. Для описания механического движения простых объектов эффективно применялась линейная (Декартова) система координат. Но можно представить иную отправную точку развития аналитической геометрии: круговую систему координат, началом развития которой явилась бы та же Книга Перемен Древнего Китая. Возможность альтернативного пути в развитии математического аппарата науки видится также в математике арабского мира. Исходным пунктом здесь было не число как совокупность множества единиц, а отношения между величинами, откуда более органичен переход не к арифметике, а к алгебре. (Интересно, что сегодня имеют место проекты реформы школьного образования, в которых предлагается начинать изучение математики не с арифметики, а с алгебры: не с чисел, а с отношений между числами).

Поясним, что речь в данной теме идет не об истине, а только о сложности концептуального аппарата, который может, как упрощаться, так и усложняться, в зависимости от различия отправных точек развития науки. Многие понятия, к которым «наша» наука приходила опосредованным путем сложных концептуальных построений, в «иной» ветви развития оказались бы исходными и «простыми», имеющими статус интуитивной самоочевидности. И наоборот. Наиболее «простые» понятия нашей науки могли бы оказаться самыми сложными для альтернативной ветви развития. Вещи, предметы, тела здесь брались бы не в качестве первичных данностей опыта, а как «контринтуитивные» сбои и задержки в динамике циклов. Добавим, что сложные (для нас) математические формы паттернов самоорганизации, к которым «наша» ветвь познания приходит на продвинутых стадиях развития математического языка, - гораздо ближе к описанию «естественных» реально существующих в природе форм и процессов, нежели «интуитивно самоочевидные» (для нас) алгоритмы построения правильных геометрических форм. Простые (для нас) геометрические формы платоновых тел, наоборот, наиболее искусственны для «реального» мира.

## ИСТОКИ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ В РОССИИ: Э.Л. РАДЛОВ

*Н.В. Довгаленко*

*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-114-115

Академичность (от платоновской «*Ἀκαδημία*») – греко-римское понятие, преобразованное вековым развитием, до сих пор, заключается в приверженности теории, наставничестве, схоластичности, особой «закрытости», отстранённости от повседневности, жизненного мира. Оно присуще исследователю – одновременно и «учителю», и «ученику» - диалектику, библиофилу, который «выше» данности, обладает умением абстрагироваться от личных пристрастий ради понимания. Обретаемый «образ» в результате такого обучения, и есть «образованность», раскрываемая как цельность личности, в которой мышление становится главным делом, деятельностью. Они характерны для людей, воспитанных данной средой и поддерживающих ее на протяжении собственной жизни. Формирование академичности в России напрямую определяется укоренением философии, как стремлением к рефлексии, оценке уникальности накопленного опыта культуры. Э.Л. Радлов – русский мыслитель, переводчик, член-корр. РАН становится одним из первых, кто совершает в начале XX в. попытку проследить эволюцию русской философской мысли. Став приверженцем русской академической культуры, он способствует ее переносу в советское время, заняв выборную должность директора Публичной библиотеки (1918-1924), член-корр. АН СССР (1925). Оставшись в тени отблеска деятелей «серебряного века», он является одним из первых, кто смог осмыслить не только русскую философию, но и ее системную среду, академичность, творческую атмосферу, отличную от всех иных сред. Ее наполнение духовным трудом, наукообразием, стремлением к «подлинному» породили ярких носителей: участников Петербургского философского общества, В.С. Соловьева, Т. Масарика и многих других.

Центры притяжения философии Радлов связывает, первоначально, с просвещением, институализацией образования, в котором отмечает особую роль Православной церкви, духовных академий и университетов, а также публицистических журналов, широко распространяющих критическое знание. «Мы отметили наклон русской мысли в сторону разрешения этико-социальных вопросов в духе мистики» [1, с. 99], что явилось базовой идеей философии, ее настоящим истоком. «Мистический реализм» - так об этом писал В.С. Соловьёв. Вместе с тем, исследования естественнонаучного корпуса, математики тоже обладают глубиной, масштабностью. Но Радлов не отождествляет

зарождение философии с появлением университетского образования и научных изысканий, справедливо отмечая самостоятельность ее идей. М.В. Ломоносов, Г.С. Сковорода, А.Н. Радищев, М.М. Сперанский стали, по его мнению, открывателями русского способа философии именно потому, что смогли, в разной степени, соединить в своих трудах несовместимое – духовно-мистическое начало, наукообразие и критичность. Он отмечает забытое влияние немецкого идеализма как на религиозное течение русской философии, так и на систему материализма и марксизма, захватившую мысль во 2-й пол. XIX в. Именно освобождение от «чуждого» влияния (византийского, западно-европейского) Радлов ставит точкой отсчёта для начала системной философии, в которой были увлечения естественными науками, пытавшимися вытеснить метафизику. Славянофильство же, истоком знаний для которого стал вопрос о вере, стало принципом, началом «построительной» философии.

Осмысление генезиса философии в русской культуре представляется темой, которая содержательно не исчерпана. Последовательная приверженность простоте, структурности, логичности изложения, стремление дать полный анализ околофилософских и философских трудов авторов различного уровня популярности, направлений, демонстрируют академичность исследований Э.Л. Радлова, которую он воспринял из опыта «учителей» (В.С. Соловьев), культивировал, невзирая на смену эпох, парадигм мышления. Эта особо возделанная среда, открытая философской рефлексией, определила не только исследовательскую программу, но и образ жизни в русской культуре, смеем надеяться, не утрачена и сегодня.

#### Список литературы

Введенский А.И., Лосев А.Ф., Радлов Э.Л., Шпет Г.Г. Очерки истории русской философии. Свердловск, Изд-во Урал. ун-та. 1991. 592 с.

## КРАТКАЯ ИСТОРИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ НОВАЦИЙ В ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКОЙ КУЛЬТУРЕ

В.В. Орлов

*Саратовская государственная консерватория имени Л.В. Собинова, Россия, Саратов*  
DOI:10.24412/el-37145-2023-1-115-116

Многовековую историю западноевропейской музыкальной культуры с точки зрения влияния на неё принято делить на три глобальные эпохи: античность и средневековье (до XVI в.), Новое время (XVII – XIX вв.), Новейшее время (с XX в.). Такая традиция периодизации истории музыки, в которой объединяются в одну эпоху античность и средневековье, была предложена С.С. Скребковым [1, С.13]. Основанием для этого служит онтологически обусловленная ориентация музыкального искусства на вечные, неизменные сущности и ценности (мифологизм), в период Средневековья уже оформившаяся в требование канона.

В этой связи представляется важной и актуальной культурологическая концепция Ю.М. Лотмана [2], связанная с дихотомией двух типов культур – канонического и неканонического. Один из них ориентирован на канонические системы («искусство эстетики тождества»), другой – на нарушение канонов и заранее предписанных норм («искусство эстетики различий»). В искусстве первого типа эстетические ценности возникают в результате выполнения норматива, а во втором, напротив, вследствие его нарушений.

Культура античности и средневековья воспринимается в контексте единой парадигмы культуры канонического типа, главным свойством которой была теоцентрическая направленность мировоззренческого и метафизического поиска. Музыка этих эпох не являлась самостоятельным, самодостаточным видом искусства, пребывая в служебном положении и выполняя прикладную функцию (элемент молитвы,



богослужения, церковного обряда). Отсюда – особое положение творца-анонима и отсутствие музыкального произведения как оригинального опуса. Законы построения музыки давали автору минимальную свободу, в рамках которой он был способен сказать свое слово, показать свое видение, собственное отношение к миру трансцендентного. Новации проявлялись на уровне индивидуального постижения автором канонических форм искусства.

В эпоху Нового времени на смену «эстетике тождества» приходит «эстетика различий». Человек становится центром вселенной. Новация в музыкальной культуре Нового времени связана с нарушением канона, с «эстетикой различий» и с сопоставлением несопоставимого (например, трех жанров в Ля-мажорной прелюдии Ф. Шопена – мазурки, хорала и вальса). В эту эпоху впервые появляются понятия автора и его музыкального произведения как опуса. Автор выражает в произведении собственную индивидуальность и стремится сделать в каждом опусе «художественное открытие», что во многом связано с антропоцентризмом, ставшим основой мировоззренческой вселенной культуры Нового времени.

В Новейшее время происходит серьезное изменение музыкального языка, открываются новые звуковые пространства. На рубеже веков появляются новые нормы музыкально-научного мышления, связанные с исторической эволюцией музыкальных систем и пересмотром традиционных норм композиции. Сливаются воедино музыкальная философия, эстетика, теория музыкального числа. Начиная с XX века, творчество каждого композитора стало представлять собой неповторимый звуковой мир, с собственной художественной логикой, кругом выразительных средств и техникой письма. В XX столетии наблюдается расщепление целостного художественного движения на множество индивидуальных потоков, которое привело к параллельному существованию разнообразных и несовместимых эстетически и стилистически мышлений, логик, техник, систем. При этом все новации Новейшего времени находят свои истоки в эпохе античности и средневековья. Таким образом, в Новейшее время мы обнаруживаем своеобразное возвращение идеалов и ценностей канонического искусства. Тем не менее, значимость новаций в этот период не утрачивается и не перестает существовать в парадигме «эстетики различия».

Искусство Новейшего времени началось с девальвации антропоцентризма, с отрицания бытовых жанров, со стремления композиторов уйти от «слишком человеческого». Отсюда вытекает усложнение музыкального языка, который оторван от языка массового человека.

Таким образом, каждая из трёх глобальных музыкально-исторических эпох по-своему отвечает одной из парадигм, выявленных Лотманом [3]. Античность и средневековье – эстетика тождества, Новое время – эстетика различий, Новейшее время – сосуществование обеих эстетик в одновременности.

#### Список литературы

1. Скребков С.С. Художественные принципы музыкальных стилей. М.: Музыка. 1973. 446 с.
2. Лотман Ю.М. Искусствоведение. Методы точных наук и семиотики. М.: Либроком. 2009. 368 с.
3. Лотман Ю.М. Статьи по семиотике культуры и искусства.-СПб.: Академический проект. 2002. 543с.