Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Г. Г. Амосов, Ал. В. Булинский, Ан. В. Булинский, В. М. Бухштабер, И. А. Ибрагимов, В. П. Маслов, А. Я. Хелемский, А. М. Чеботарев, М. Е. Широков, А. Н. Ширяев, Александр Семенович Холево (к семидесятипятилетию со дня рождения), *УМН*, 2018, том 73, выпуск 6, 199–203

DOI: <https://doi.org/10.4213/rm9856>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.172.240.79

26 апреля 2023 г., 15:33:54

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ

Александр Семенович Холево

(к семидесятипятилетию со дня рождения)

2 сентября 2018 г. исполнилось семьдесят пять лет члену-корреспонденту Российской академии наук Александру Семеновичу Холево, автору фундаментальных трудов в области некоммутативной теории вероятностей и статистики, квантовой теории открытых систем и случайных процессов, одному из создателей квантовой теории информации.

Александр Семенович – автор пяти монографий и около двухсот научных статей, опубликованных в ведущих научных журналах. В своих работах он привержен вероятностным и операторным методам, применяя их к решению физически значимых и математически трудных проблем. Он являлся приглашенным докладчиком на международных конгрессах математиков в Беркли (1986 г.) и Мадриде (2006 г.). Научные достижения Александра Семеновича отмечены рядом престижных отечественных и международных премий, среди которых – премия Клода Э. Шеннона 2016 г. за выдающиеся достижения в области теории информации.

Александр Семенович родился 2 сентября 1943 г. в Москве. В 1966 г. он окончил Московский физико-технический институт по специальности “Прикладная математика и вычислительная техника”. Его первая научная статья, написанная в студенческие годы под руководством М. А. Наймарка, была посвящена теории операторов в пространствах с индефинитной метрикой (в ней был решен вопрос о спектре оператора вида T^*T в таком пространстве).

В дальнейших исследованиях А. С. Холево выражено тяготение к задачам с естественно-научным содержанием. Таким является цикл его работ по статистике случайных процессов, публиковавшийся в журнале “Теория вероятностей и ее применения” в конце 1960-х годов. В 1967 г. им был предложен и исследован метод рекуррентного оценивания параметров диффузионного процесса, распространяющий идею стохастической аппроксимации на случай непрерывного времени, который впоследствии вырос в целое направление в статистике случайных процессов. В кандидатской диссертации (1969 г.), выполненной под руководством Ю. А. Розанова, он провел исчерпывающее исследование асимптотических свойств оценок коэффициентов регрессии для процессов с непрерывным временем, тем самым решив проблему, поставленную

в известных работах У. Гренандера 1950-х годов. В 1969 г. А. С. Холево был принят в Отдел математической статистики МИАН, возглавлявшийся тогда Л. Н. Большевым, впоследствии стал сотрудником Отдела теории вероятностей и математической статистики, руководимого Ю. В. Прохоровым. В настоящее время А. С. Холево является заведующим этим отделом.

В 1969–1970 гг. А. С. Холево, отталкиваясь от проблемы эквивалентности бесконечномерных гауссовских распределений, лежащей в основе ряда вопросов статистики случайных процессов, переходит к изучению ее некоммутативного аналога – проблемы квазиэквивалентности обобщенно-свободных состояний канонических коммутационных соотношений. В работах 1971–1972 гг., опубликованных в журнале “Теоретическая и математическая физика”, им получены необходимые и достаточные условия и полная классификация типов обобщенно-свободных состояний. С точки зрения математической физики эти результаты проясняют аналитическую природу некоторых расходимостей в квантовых системах с бесконечным числом степеней свободы и продолжают классические работы К. Фридрикса, И. Сигала, Н. Н. Боголюбова, Р. Пауэрса и Э. Штермера. Об актуальности этих результатов свидетельствует тот факт, что условия квазиэквивалентности были независимо и почти одновременно открыты (в другой форме) известным японским математиком Х. Араки и бельгийским математиком А. Ван-Даэлем.

Такой “некоммутативный” поворот в области научных интересов А. С. Холево был в дальнейшем продолжен фундаментальными работами по изучению статистической структуры квантовой теории. Как внутренняя логика современного развития вероятностной науки, так и прогресс средств передачи и обработки информации, появление новых информационных технологий делают чрезвычайно актуальным вопрос о последовательном квантово-механическом обобщении идей и методов теории вероятностей, математической статистики, теории информации и случайных процессов. В становлении и развитии этого направления исследований А. С. Холево принадлежит ведущая роль.

Им было впервые построено некоммутативное обобщение теории статистических решений, дающее математическую основу для корректной постановки и решения нового класса статистических задач, возникающих в вопросах передачи информации по квантовым каналам связи. Установлены необходимые и достаточные условия оптимальности в общей байесовской задаче, введен и исследован некоммутативный аналог метода максимального правдоподобия, получено полное решение задачи об оптимальном измерении среднего значения квантового поля в гауссовском состоянии. Эти результаты обобщены в докторской диссертации “[Исследования по общей теории статистических решений](#)”, опубликованной как отдельная монография в “Трудах МИАН” в 1976 г. и изданной Американским математическим обществом [на английском языке](#) в 1978 г.

В работах А. С. Холево 1973 г. было обнаружено принципиальное свойство супераддитивности информации в квантовом канале связи без памяти. Это свойство, в определенном смысле дуальное корреляциям Эйнштейна–Подольского–Розена и не имеющее классических аналогов, означает, что информация, содержащаяся в измерениях над квантовой системой, состоящей из независимых подсистем, может превышать сумму информации, отвечающих подсистемам. В этой связи впервые было дано корректное определение пропускной способности квантового канала связи и установлена принципиальная верхняя граница количества передаваемой информации, широко цитируемая в литературе. Вопрос об асимптотической достижимости этой границы был решен (в положительном смысле) лишь в 1990-х годах в работах А. С. Холево. Термин “граница Холево” является одним из основополагающих понятий в современной теории квантовой информации.

В 1980 г. была опубликована монография “Вероятностные и статистические аспекты квантовой теории”, в которой изложена новая статистическая концепция квантового измерения, основанная на математическом понятии положительной операторнозначной (обобщенной спектральной) меры и свободная от целого ряда трудностей и противоречий стандартного подхода. Книга вызвала широкий интерес, а в 1982 г. вышел ее перевод в издательстве “North Holland”, который получил положительные отклики в “Bulletin of the London Mathematical Society”, “Bulletin of the American Mathematical Society”, “Physics Today” и других журналах. В этой книге нашел отражение и новый подход к квантованию канонических пар, основанный на развитии понятия системы импримитивности, введенного Дж. Макки. Результаты по строению обобщенных систем импримитивности докладывались на Математическом конгрессе в Варшаве в 1983 г. Второе, расширенное издание этой оказавшейся весьма востребованной книги с предисловием академика К. А. Валиева вышло на русском языке в 2003 г., а на английском – в 2011 г.

Исследования А. С. Холево 1980–1990-х годов относятся к динамической теории открытых квантовых систем и квантовых случайных процессов. Им установлен некоммутативный аналог представления Леви–Хинчина для эрмитовых условно-положительно определенных функций со значениями в пространстве ограниченных отображений C^* -алгебры, проливающий свет на структуру квантовых процессов непрерывного измерения, получена функциональная предельная теорема о сходимости серий последовательных измерений к процессу непрерывного измерения. Эти исследования, раскрывающие новые неожиданные связи между классическими разделами теории вероятностей и квантовой теорией, составили предмет приглашенного доклада на Математическом конгрессе в Беркли в 1986 г.

К началу 1990-х годов вокруг семинара “Алгебраические методы в классической и квантовой статистике”, организованного А. С. Холево в МИАН, формируется группа активно работающих в этом направлении специалистов, среди которых в первую очередь следует упомянуть Н. Н. Ченцова, В. П. Белавкина – представителя школы Р. Л. Стратоновича, а также А. М. Чеботарева (физфак МГУ). Поддерживаются плодотворные контакты с научными школами Р. Л. Добрушина, Я. Г. Синая, В. П. Маслова, Т. А. Сарымсакова и Ш. А. Аюпова, с математиками Казани.

Развивая это направление, в 1990-е годы А. С. Холево получил существенное продвижение в структурной теории динамических полугрупп. Понятие динамической полугруппы является некоммутативным аналогом понятия марковской полугруппы: последние действуют в функциональных пространствах, тогда как динамические полугруппы действуют в алгебрах операторов, удовлетворяя при этом естественным условиям положительности и нормировки. Это понятие, одно из центральных в некоммутативной теории вероятностей, сформировалось в 1970-е годы в связи с обоснованием марковского управляющего уравнения (аналог уравнения Колмогорова) в квантовой теории открытых систем, однако большая часть строгих результатов относилась к случаю ограниченного генератора. Используя, с одной стороны, идеи классической теории марковских процессов, а с другой – методы когомологий алгебр и групп, А. С. Холево сумел существенно развить теорию для неограниченных генераторов, получив целый ряд принципиально новых результатов, в частности отмеченных среди лучших работ Российской академии наук по итогам 1992 и 1995 гг. Было найдено законченное описание вида квантовых марковских управляющих уравнений, ковариантных по отношению к важным группам симметрий, в частности трансляционно-и галилеево-ковариантных. Прояснен давно стоявший вопрос о возможности так называемого стандартного представления генератора: с одной стороны, в 1996 г. построен пример генератора, не допускающего стандартного представления на всей области

определения, а с другой – доказана возможность стандартного представления на некотором плотном подпространстве, не являющемся, вообще говоря, существенной областью определения. В 1997 г. А. С. Холево был удостоен премии им. А. А. Маркова Российской академии наук за цикл работ по некоммутативной теории вероятностей.

Эти работы создали прочный математический фундамент как для дальнейшего развития теории квантовых случайных процессов, так и для многочисленных приложений. В 2001 г. в издательстве Springer вышел монографический обзор А. С. Холево *“Statistical structure of quantum theory”* (русское издание – ИКИ, М.-Ижевск, 2003), в котором изложены базовые понятия и современное на тот момент состояние знаний в области квантовой математической статистики, теории открытых квантовых систем, непрерывных измерений и квантовых случайных процессов.

С середины 1990-х годов научные интересы Александра Семеновича вновь связаны с квантовой теорией информации – научной дисциплиной, которая начинает быстро развиваться после прорывных открытий П. Шора, Ч. Беннета и их коллег, привлекая большое число исследователей во всем мире. В 1996 г. А. С. Холево доказал в наиболее общей форме теорему кодирования для классической пропускной способности конечномерного квантового канала, которая была им же в дальнейшем обобщена на случай бесконечномерных каналов с энергетическими ограничениями. В 2002 г. вышла его монография *“Введение в квантовую теорию информации”*, которая стала настольной книгой для многих отечественных исследователей в данной области. Его вклад в это направление получил широкое признание, в частности, в 1996 г. он был удостоен международной премии *“Quantum Communication Award”* за развитие математических методов теории квантовых каналов связи.

В 1990-е гг. А. С. Холево является приглашенным профессором в ряде зарубежных университетов, в том числе: The Royal Society Kapitza Visiting Research Fellow, UK; the Mercator Professor, DFG, Germany; the Leverhulme Visiting Professor, University of Cambridge, UK. Он также приглашался с краткими рабочими визитами в университеты и исследовательские центры Кембриджа, Оксфорда, Лондона, Мюнхена, Гёттингена, Марбурга, Милана, Рима, Пизы, Триеста, Стокгольма, Дублина, Токио, Киото, Сингапура, Дели. Продолжая поддерживать активные международные научные связи, он был членом Научного комитета 5-го Европейского конгресса математиков в Амстердаме (2008 г.), Европейского регионального комитета Общества Бернулли (2006–2010 гг.).

В 1999 г. А. С. Холево был удостоен Исследовательской премии фонда А. фон Гумбольдта. В 2000-х годах он получает ряд принципиальных результатов в теории важного класса квантовых каналов связи – бозонных гауссовских каналов. Им, в частности, дана полная классификация одномодовых гауссовских каналов – результат, который стал основой для многих последующих работ в данной области. В 2010 г. выходит монография А. С. Холево *“Квантовые системы, каналы, информация”*, [англоязычная версия](#) которой выпускается в 2013 г. издательством De Gruyter. В этой монографии было дано математически строгое изложение базовых понятий и результатов квантовой теории информации с учетом новейших достижений.

В 2013 г. Александр Семенович в соавторстве с европейскими коллегами В. Джованнетти и Р. Гарсиа-Патрон решает задачу, которая в течение многих лет оставалась одной из основных открытых проблем квантовой теории информации – о гауссовских минимизаторах и аддитивности пропускной способности для квантовых гауссовских каналов связи. Средствами некоммутативной теории вероятностей было показано, что выпуклый функционал общего вида (включая энтропии фон Неймана, Реньи и нормы Шаттена), заданный на области значений гауссовского вполне положительного отображения (канала) на алгебре канонических коммутационных соотношений, достигает глобального экстремума на образе когерентных состояний, причем последние характеризуются этим свойством. Этот результат позволил вычислить пропускные способности и описать оптимальные методы кодирования для математических

моделей широкого класса каналов связи, наиболее употребительных в квантовой информатике и квантовой оптике, а также установить, что классическая пропускная способность таких каналов аддитивна и достигается на гауссовском кодировании. В результате были даны явные выражения фундаментальных пределов скорости передачи информации для наиболее используемых классов квантовых гауссовских каналов.

Решение этой задачи позволило существенно продвинуть общую теорию квантовых гауссовских систем и каналов и было отмечено премией Российской академии наук за лучшие научные достижения в 2015 г., а в 2016 г. Общество по теории информации Международного института IEEE присудило А. С. Холево премию Клода Э. Шеннона (вторую в России, после присужденной М. С. Пинскеру в 1978 г.).

Много времени и внимания Александр Семенович уделяет подготовке молодых специалистов. Более сорока лет он преподавал в своем родном Физтехе, десять лет на мехмате МГУ, а в настоящее время читает лекции в Московском институте электроники и математики НИУ «ВШЭ». Его лекции по квантовой теории информации в МГУ и в Научно-образовательном центре МИАН в течение ряда лет привлекали внимание большого числа студентов и аспирантов из различных вузов Москвы, а для многих из них они определили направление научной деятельности.

Он является членом редакционных коллегий журналов: «Успехи математических наук», «Математический сборник», «Теория вероятностей и ее применения» (зам. гл. редактора), «Теоретическая и математическая физика», «Известия вузов. Математика», «IEEE Transactions on Information Theory» (до 2016 г.), «Quantum Information Processing», «Reports on Mathematical Physics».

Значительное место в обязанностях А. С. Холево занимает экспертная и научно-квалификационная деятельность. В течение многих лет он является членом Экспертного совета ВАК по математике и механике, работал в Экспертном совете РФФИ по математике, механике и информатике, является экспертом РАН и различных научных фондов.

В заключение нельзя не отметить замечательный лингвистический талант Александра Семеновича, который позволил ему изложить труднейшую современную теорию квантовой информации четким и красивым языком. Это помогло ему стать признанным классиком этой науки в мире.

Коллеги и ученики Александра Семеновича выражают ему свое уважение и большую благодарность за помощь в научной работе, желают новых научных достижений, крепкого здоровья и личного счастья.

*Г. Г. Амосов, Ал. В. Булинский, Ан. В. Булинский,
В. М. Бухштабер, И. А. Ибрагимов, В. П. Маслов, А. Я. Хелемский,
А. М. Чеботарев, М. Е. Широков, А. Н. Ширяев*