

## К ЮБИЛЕЮ ПРОФЕССОРА Б.С. ЦУКЕРБЛАТА



Выдающийся исследователь, широко известный международному научному сообществу ученых, автор трех монографий и более 380 статей в области примесного поглощения света и молекулярного магнетизма, член-корреспондент Академии наук Молдовы, профессор Борис Самойлович Цукерблат 24 июля 2019 г. празднует свое 80-летие.

После блестящего окончания физико-математического факультета Кишиневского госуниверситета в 1961 г. он поступил в аспирантуру к профессору Ю.Е. Перлину. Однако не все гладко и легко складывалось у Бориса Самойловича в начале научной карьеры. После обвинения в неопозитивизме (которое выглядит сейчас нелепым, но отнюдь не было таким смешным и безобидным в те времена) он продолжил занятия наукой, но только в заочной аспирантуре и три года проработал учителем в сельской школе, а затем год в школе № 3 г. Кишинева. Борис Самойлович и теперь с теплотой часто вспоминает эти годы, которые он считает очень важными (и счастливыми) в своей жизни, своих учеников и их родителей, которые относились к нему с огромным уважением. Многие из его учеников стали известными учеными-физиками, что является предметом гордости Б.С. Цукерблата.

Затем академик А.В. Аблов, основоположник школы координационной химии в республике, выдающийся ученый, пригласил Б.С. Цукерблата в Институт химии Академии наук МССР, сумев преодолеть барьер запрета на работу для человека, совершившего философские ошибки. Борис Самойлович с огромным уважением вспоминает Антона Васильевича Аблова и совместную с ним научную работу, которая положила начало теории обменных кластеров. Проработав в Институте химии с 1965 по 1996 г., он прошел все ступени профессионального роста: от лаборанта до главного научного сотрудника.

В 1996–2002 гг. работал главным научным сотрудником Института физики АН Молдовы. В поздние 90-е годы и в начале 2000-х юбиляр тесно и плодотворно сотрудничал с профессором, ныне академиком АН Молдовы Л.Л. Кулюком в области спектроскопии лазерных кристаллов, активированных ионами переходных металлов.

В 1995 г. профессор Б.С. Цукерблат был избран членом-корреспондентом АН Молдовы. В настоящее время является профессором Университета имени Бен-Гуриона в Беэр-Шева (Израиль).

Свою научную работу профессор Б.С. Цукерблат успешно сочетал с преподавательской деятельностью на кафедре теоретической физики Госуниверситета Молдовы, выпускником которой являлся. Под его руководством в Академии наук и Госуниверситете Молдовы была защищена 21 докторская диссертация. Проф. Б.С. Цукерблат являлся научным консультантом пяти диссертаций, представленных его учениками на соискание ученой степени доктора хабилитат. По данным Международной системы Web of Science, 266 его статей, индексируемых этой системой, процитированы представителями международного научного сообщества 5021 раз, средняя цитируемость работы 19.77, Hirshch index проф. Б.С. Цукерблата – 32. Наиболее цитируемыми являются следующие его работы: 1. MAGPACK: a package to calculate the energy levels, bulk magnetic properties, and inelastic neutron scattering spectra of high nuclearity spin clusters, *Journal of Computational Chemistry*, 2001, 22, 985 (720 цитирований); 2. High-nuclearity magnetic clusters: Generalized spin Hamiltonian and its use for the calculation of the energy levels, bulk magnetic properties, and inelastic neutron scattering spectra, *Inorganic Chemistry*, 1999, 38, 6081 (число цитирований 558); 3. Quantum oscillations in a molecular magnet, *Nature*, 2008, 453, 203 (число

цитирований 263). 4. Structure-related frustrated magnetism of nanosized polyoxometalates: aesthetics and properties in harmony, Dalton Transactions 2010, 39, 21 (число цитирований 188).

Профессор Б.С. Цукерблат является автором трех монографий: 1. Ю.Е. Перлин, Б.С. Цукерблат. Эффекты электронно-колебательного взаимодействия в оптических спектрах примесных парамагнитных ионов. Кишинев, Штиинца. 1974. 869 с.; 2. Б.С. Цукерблат, М.И. Белинский. Магнетохимия и радиоспектроскопия обменных кластеров. Кишинев, Штиинца. 1983, 280 с.; 3. B.S. Tsukerblat. Group Theory in Chemistry and Spectroscopy. Academic Press. London. 1994. 430 pages. В 1987 г. он получил Государственную премию МССР по науке и технике за развитие теории релаксации в лазерных средах.

Борис Самойлович приглашался для чтения лекций и проведения совместной научной работы в университеты и научно-исследовательские институты Польши, Болгарии, Италии, Германии, США, Франции и Испании. Эти приглашения никогда не бывали разовыми, и чаще всего их продолжением было многолетнее и плодотворное научное сотрудничество.

Ученик и ближайший соратник члена-корреспондента АН Молдовы, профессора Ю.Е. Перлина Борис Самойлович Цукерблат продолжил и развил замечательные традиции кишиневской школы физиков-теоретиков, заложенные Ю.Е. Перлиным: это честность в науке и беззаветная ей преданность, доброжелательное и в высшей степени демократическое отношение к ученикам и коллегам. Профессор Б.С. Цукерблат – человек с необычайной внутренней энергетикой, включающей новые яркие идеи, широту научных интересов и желание помочь окружающим преодолеть трудности не только в науке, но и в повседневной жизни. Он всегда помогал и продолжает помогать молодым ученым и своим ученикам и коллегам. Невозможно вспомнить хотя бы один случай, чтобы молодой, начинающий ученый, сотрудничавший с Б.С. Цукерблатом, не защитил бы кандидатскую диссертацию. Его бескорыстность в этом отношении просто поразительна.

В этой небольшой статье нам хотелось бы также кратко упомянуть основные научные достижения профессора Б.С. Цукерблата. В 80-е годы им совместно с членом-корреспондентом АН МССР, профессором Ю.Е. Перлиным была предложена модель примесного центра малого радиуса, учитывающая эффект Яна-Теллера, дисперсию активных колебательных мод и кристаллические поля. Развита теория линейного

и циркулярного поляризационного дихроизма многофононных оптических полос, безызлучательных переходов и бесфононных линий в ян-теллеровских центрах (хром в рубине, редкоземельные ионы). Исследование спектров поглощения и люминесценции и процессов безызлучательной релаксации энергии электронного возбуждения примесных ионов в лазерных кристаллах является одной из фундаментальных задач физики твердого тела, которая имела и имеет большое прикладное значение. Особенно важную роль безызлучательные переходы играют при создании инверсной заселенности в активной среде твердотельных лазеров. Работы Ю.Е. Перлина и Б.С. Цукерблата в этой области актуальны и по сей день, поскольку исследование безызлучательной релаксации необходимо для прогнозирования лазерных свойств активированных сред и оптимизации их параметров.

В последующем десятилетии научные интересы Бориса Самойловича были сосредоточены в основном на исследовании обменного взаимодействия в молекулярных кластерах. В этих работах принимал активное участие его ученик М.И. Белинский, ставший профессором Тель-Авивского университета. Был развит теоретико-групповой метод анализа высших (унитарных) симметрий обменного гамильтониана. На основе анализа случайных вырождений обменных мультиплетов построена систематическая негайзенберговская теория магнитной восприимчивости, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) и эффекта Мессбауэра в обменных кластерах. Предсказаны эффекты неколлинеарной спиновой структуры в тримерных кластерах и орбитального парамагнетизма спин-спаренных систем, объяснены парадоксы магнитного поведения мессбауэровских спектров тримеров железа. Задача обменного взаимодействия атомов переходных металлов с вырожденными уровнями была решена совместно с доктором хабилитат А.В. Палием.

Особое место в исследованиях юбиляра занимали и занимают молекулярные кластеры смешанной валентности. В совместных работах Б.С. Цукерблата и его учеников докторов хабилитат А.В. Палия, С.М. Островского и профессора С.И. Клокишнер найдено общее решение проблемы двойного обмена в полиядерных системах смешанной валентности, включающих произвольное число парамагнитных центров и мигрирующих электронов. Рассмотрены смешанно-валентные тетраядерные кластеры железа (железосерные протеины), а также гексаядерные комплексы железа с учетом двой-

ного и гайзенберговского обмена и вибронного ян-теллеровского взаимодействия.

Кооперативные явления в молекулярных кристаллах смешанной валентности были предметом совместных исследований профессоров Б.С. Цукерблата и С.И. Клокишнер. Впервые в их совместных работах была высказана идея зарядового и структурного упорядочения обменных кластеров смешанной валентности в молекулярных кристаллах. Показана возможность существования необычных фазовых состояний кристалла смешанной валентности, характеризующихся низкотемпературной разупорядоченной фазой с последующим упорядочением в конечном интервале температур. Было продемонстрировано также, что в многоэлектронных кластерах смешанной валентности переходных металлов возможны три фазовых перехода. В рамках предложенного нового квазидинамического подхода к вибронной проблеме фазовых переходов были объяснены температурные изменения в мессбауэровских спектрах кристаллов биферроцена, показано, что загадочный факт сосуществования мессбауэровских спектров локализованного и делокализованного типов в этих кристаллах связан с квантовыми эффектами интерференции вибронных состояний (вибронными резонансами). Эффекты интерференции позволили объяснить также мессбауэровские спектры, включающие более трех дублетов, обнаруженные экспериментально. Также была развита теория интервалентных полос поглощения света и сверхтонкой структуры спектров ЭПР.

Одним из важных направлений исследований, проводимых проф. Б.С. Цукерблатом в последние годы, является разработка вычислительных методов и основанных на них компьютерных программ, предназначенных для описания энергетических спектров, магнитных и спектроскопических свойств больших полиядерных кластеров, представляющих значительный интерес для молекулярного магнетизма и молекулярной спинтроники. Так, Б.С. Цукерблатом совместно с группой профессора Е. Коронадо из Университета Валенсии (Испания) был развит общий метод решения задачи на собственные значения спинового гамильтониана обменных систем, основанный на применении техники неприводимых тензорных операторов (*Inorg. Chem.* 1999). Этот подход оказался чрезвычайно эффективным для описания полиядерных кластеров, и на его основе был создан компьютерный пакет MAGPACK, позволяющий рассчитывать спиновые энергетические уровни, магнитные свойства, спиновую теплоемкость и спектры

неупругого нейтронного рассеяния таких систем (*J. Comput. Chem.* 2001). В настоящее время MAGPACK является одной из наиболее известных и востребованных компьютерных программ, используемых в молекулярном магнетизме, на что указывает уже упомянутое большое количество цитирований указанных работ. Позже Б.С. Цукерблатом в соавторстве с А.В. Палием, Е. Коронадо и его группой был развит общий метод расчета энергетического спектра полиядерных кластеров смешанной валентности, в которых, наряду с гайзенберговским обменным взаимодействием, активен также двойной обмен, обусловленный поляризацией системы спиновых остовов (локализованных спинов) мобильными электронами (*Inorg. Chem.* 2009). На основе этого метода была разработана компьютерная программа MVPACK, предназначенная для расчета магнитных свойств кластеров смешанной валентности с произвольным числом спиновых остовов и мобильных электронов (*J. Comput. Chem.* 2010). Программа MVPACK оказалась весьма эффективной для описания таких сложных систем, как большие железосерные кластеры и восстановленные полиоксометаллаты. Наконец, сравнительно недавно Б.С. Цукерблат совместно с А.В. Палием, Е. Коронадо и др. разработал мощный теоретико-групповой подход к решению ян-теллеровских и псевдо-ян-теллеровских вибронных задач, возникающих в больших кластерах смешанной валентности (*Int. J. Quant. Chem.* 2012). Дальнейшее развитие этого подхода привело к созданию программы VIBPACK, позволяющей рассчитать вибронные энергетические спектры сложных ян-теллеровских и псевдо-ян-теллеровских систем, а также их термодинамические свойства и формы оптических полос межвалентного поглощения (*J. Comput. Chem.* 2018). Следует отметить, что возможности программы VIBPACK не ограничиваются системами смешанной валентности. Эту программу можно также применять для описания оптических спектров комплексов ян-теллеровских парамагнитных ионов, для которых возникают сложные многомодовые вибронные задачи. В целом теоретические подходы и совокупность основанных на них компьютерных программ, разработанных Б.С. Цукерблатом с сотрудниками, позволяют успешно описать обширный класс систем, изучаемых в современном молекулярном магнетизме.

Сравнительно недавно Б.С. Цукерблат в своих работах обратился к проблемам молекулярной спинтроники и квантовых нанотехнологий. Так, в серии работ, написанных в соавторстве с Е. Коронадо, С.И. Клокишнер, А.В. Палием и

др., профессором была детально исследована возможность электрополевого контроля магнитных и оптических свойств ряда комплексов смешанной валентности, выступающих в роли молекулярных аналогов мультиферроиков. В указанных работах, в частности, было показано, что в некоторых из таких систем (например, в тригональных двухэлектронных кластерах смешанной валентности) электрическое поле определенной величины и направления может приводить к изменению основного спинового состояния, то есть такие системы можно использовать в качестве спиновых переключателей. Для некоторых других систем, таких, например, как полиоксометаллаты с частично делокализованной электронной парой или линейные двухэлектронные полиферроценовые комплексы смешанной валентности, была выявлена возможность использования электрического поля в качестве контролируемого источника квантовой запутанности (quantum entanglement) между двумя удаленными друг от друга спиновыми кубитами, что представляет интерес для квантового компьютеринга (создания логических квантовых вентилях – logic gates).

Наконец, следует отметить вклад Б.С. Цукерблата в развитие такой важной динамично развивающейся области современных нанотехнологических исследований, как теория молекулярных квантовых клеточных автоматов. Совместно с А.В. Палием, Х.М. Клементе-Хуаном и группой Е. Коронадо им была впервые развита вибронная модель квантовых клеточных автоматов на основе двухэлектронных квадратно-плоскостных молекулярных ячеек смешанной валентности. В силу своего малого размера и крайне низкого энергопотребления по сравнению с традиционно используемыми в

интегральных микросхемах полевыми транзисторами квантовые клеточные автоматы представляют значительный интерес в качестве альтернативной элементной базы для создания наномасштабных устройств, способных выполнять вычисления с очень высокими скоростями переключения (в терагерцовом диапазоне). В работах Б.С. Цукерблата с сотрудниками была выявлена определяющая роль вибронного взаимодействия как фактора, создающего дополнительный барьер для переключения молекулярной ячейки между двумя поляризованными состояниями под действием соседней ячейки-драйвера. Им также были разработаны критерии рационального дизайна молекулярных ячеек для квантовых клеточных автоматов.

К сожалению, в рамках краткой статьи невозможно охватить все стороны научной деятельности Бориса Самойловича и упомянуть всех тех, с кем он сотрудничал в разные периоды. Особо нужно отметить очень близкого друга юбиляра, выдающегося физика-теоретика, необычайно порядочного, интеллигентного и достойного человека доктора хабилитат Б.Г. Вехтера, в соавторстве с которым юбиляр опубликовал ряд работ по теории эффекта Яна-Теллера.

Доброжелательность, истинная демократичность, простота в общении, широкая научная эрудиция всегда привлекали к Борису Самойловичу симпатии коллег и учеников. В этот знаменательный день хочется пожелать ему крепкого здоровья, удачи и радости в жизни, долгих лет научного творчества и новых блестящих успехов в исследованиях.

**Профессор С.И. Клокишнер,  
доктор хабилитат А.В. Палий**