

СЗМ

Д-495

**ДУБНА — ЕРЕВАН.  
ОРБИТЫ СОТРУДНИЧЕСТВА**

503481



# ДУБНА — ЕРЕВАН. ОРБИТЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

СЗМ  
Д-495

К 80-летию со дня основания  
Ереванского государственного университета

Под общей редакцией В.Г.Кадышевского, А.Н.Сисакяна

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

ДУБНА 1999

142339

Выпуск настоящего сборника приурочен к 80-летию со дня основания Ереванского государственного университета. Статьи резюмируют те направления исследований, по которым велось научное сотрудничество ОИЯИ – ЕГУ с 1992 по 1998 годы.

Под общей редакцией: *В.Г.Кадышевского, А.Н.Сисакяна*

Составители:

*В.В.Папоян,  
Г.С.Погосян*

Фото: *М.Папикян, Ю.А.Туманова*

ISBN — 5-85165-543-7

© Объединенный институт  
ядерных исследований. Дубна, 1999

Сотрудничество физиков Армении и Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) - международной межправительственной научной организации, расположенной в Дубне, насчитывает не одно десятилетие. Практически с момента организации ОИЯИ в 1956 году к работе в различных лабораториях Института подключились физики Армении, которые внесли свой оригинальный и весомый вклад в реализацию научных программ ОИЯИ.

У истоков сотрудничества стояли такие выдающиеся ученые, как А.И.Алиханов, А.И. Алиханян, В.А.Амбарцумян, Д.И. Блохинцев, Н.Н. Боголюбов, В.И.Векслер, В.П.Джелепов, Б.М.Понтекорво, Г.Н. Флеров, И.М.Франк и др. Это было время бурного развития ядерной физики и физики элементарных частиц. В 50-е и 60-е годы в Дубне и Протвино были запущены крупнейшие ускорители протонов. В 1968 году в Ереванском физическом институте был запущен электронный ускоритель АРУС с рекордными на то время параметрами. Регулярно проходили хорошо известные физикам старшего поколения международные Нор-Амбердские школы. Активно развивалось сотрудничество физиков Дубны с Ереванским госуниверситетом, Бюраканской астрофизической обсерваторией и другими институтами Академии наук Армении.

В 1992 году независимая Республика Армения стала полноправной страной-участницей Объединенного института ядерных исследований.

Сотрудничество ОИЯИ – ЕГУ имеет тридцатилетнюю историю. Оно многим обязано как ученым старшего поколения, стоящим у истоков организации ОИЯИ, так и ученым, непосредственно реализующим это сотрудничество: А.М.Балдину, Ю.А.Будагову, С.А.Бунятову, А.П.Гаспаряну, Н.Н.Говоруну, К.Я.Громову, Е.П.Жидкову, В.Г.Кадышевскому, В.Г.Калинникову, Е.А.Красавину, В.А.Матвееву, Р.М.Мурадян, К.О.Оганесяну, Ю.Ц.Оганесяну, Ю.А.Панебратцеву, Л.И.Пономареву, И.В.Пузынину, А.Н.Сисакяну, Я.А.Смородинскому, А.Н.Тавхелидзе, А.В.Тарасову, Г.М.Тер-Акопяну, М.Н.Хачатуряну, Б.А.Шахбазяну и др. Со стороны ЕГУ большой вклад внесли Р.О.Авакян, А.Ц.Аматуни, С.А.Амбарцумян, Т.Л.Асатиани, Г.А.Вартапетян, А.С.Данагулян, Р.М.Мартиросян, С.Г.Матинян, В.В.Папоян, Г.С.Погосян, Г.С.Саакян, Д.М.Седракян, В.М.Тер-Антонян, А.Г.Худавердян, Ю.С.Чилингарян, Э.В.Чубарян, Р.Л.Шахбабян и др.

В 1996 и 1998 годах, в ходе официальных визитов руководителей ОИЯИ в Армению, состоялись беседы с Президентами Армении Левоном Тер-Петросяном и Робертом Кочаряном, а также встречи в прави-

тельстве Республики Армении, с президентом Национальной академии наук Ф.Т.Саркисяном, с ректором ЕГУ Р.М.Мартirosяном, с директором ЕрФИ Р.М.Мкртчяном, с учеными Армении. Одним из существенных результатов развивающихся контактов явилось подписание трехстороннего Соглашения о сотрудничестве ОИЯИ – ЕрФИ – ЕГУ. Соглашение предусматривает расширение и развитие научно-технических связей в наиболее перспективных и взаимовыгодных направлениях. Это соглашение начало приносить свои плоды. В настоящее время ведется обработка физической информации, полученной в совместных экспериментах, проведенных на Ереванском ускорителе АРУС. В 1998 году Лабораторией теоретической физики имени Н.Н.Боголюбова ОИЯИ на базе ЕГУ было проведено III Международное рабочее совещание по классическим и квантовым интегрируемым системам. К одному из важных результатов развивающегося сотрудничества можно отнести подписание в 1998 году ректором ЕГУ Р.М.Мартirosяном и директором ОИЯИ В.Г.Кадышевским Соглашения о создании на базе ЕГУ и ОИЯИ Международного центра перспективных исследований, который призван служить дальнейшему объединению научного потенциала ОИЯИ и ЕГУ в области фундаментальной и прикладной науки, проведению совместной деятельности по повышению качества образования, а также укреплению и развитию международного сотрудничества, в том числе и в Закавказье.

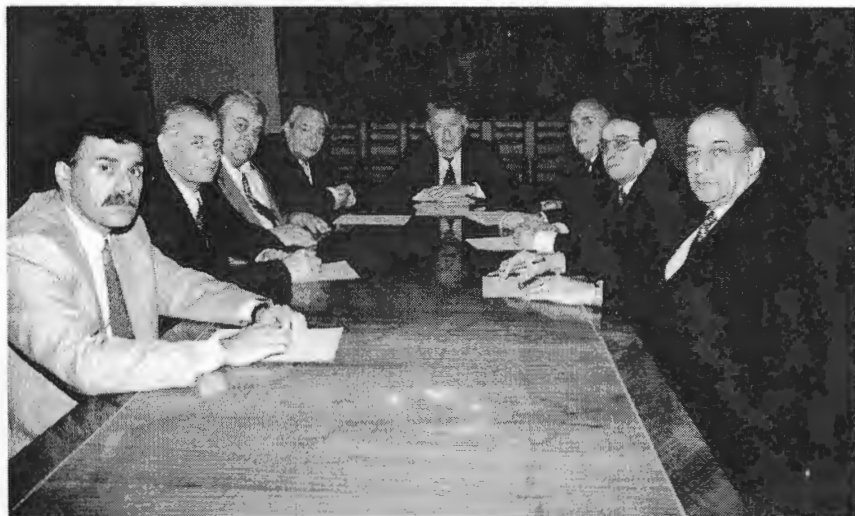
В настоящее время сотрудничество ОИЯИ – ЕГУ охватывает все лаборатории ОИЯИ. ЕГУ представлено в ОИЯИ кафедрами теоретической физики, ядерной физики, теории оптимального управления и приближенных методов и НПО "Лазерная техника".

Университетская наука многопрофильна, что и нашло свое естественное отражение в содержании настоящего сборника. Приведенные в сборнике статьи сотрудников ЕГУ, работающих по контрактам в ОИЯИ, на наш взгляд, весьма актуальны и представляют живой научный интерес. Эти статьи дают интегральное представление о научных связях между ОИЯИ и ЕГУ (1992-1998), подводят некоторые его итоги и намечают перспективы развития этого плодотворного сотрудничества.

Авторы, составители и редакторы этого небольшого сборника посвящают его 80-летию Ереванского госуниверситета - крупнейшего образовательного, научного и культурного центра Армении, которое отмечается в октябре 1999 года.



На приеме у Президента Республики Армении Р.Кочаряна



Заседание ректората проводит ректор Ереванского государственного университета академик Национальной академии наук Армении Р.М.Мартirosян



Справа налево: академик НАН Армении Г.С.Саакян, научный сотрудник ЕГУ И.В.Луценко, академик НАН Армении Е.В.Чубарян и профессор В.В.Папоян после семинара



Теоретики в гостях у сотрудников кафедры ядерной физики ЕГУ. Слева направо: М.Тер-Гукасян, И.В.Луценко, В.М.Асатурян, С.Е.Маргарян, Г.С.Погосян



Обсуждение сотрудничества между ОИЯИ и ЕГУ. На фото: декан физического факультета ЕГУ академик НАН Армении Ю.С.Чилингарян (в центре), зав. лабораторией физики высоких энергий Г.С.Погосян (слева) и профессор кафедры теоретической физики ЕГУ В.М.Тер-Антонян



Обилейный, 600-й семинар на кафедре теоретической физики ЕГУ (9 сентября 1987 г.)





Сотрудник ЕГУ, начальник НОО ОИЯИ Г.М.Арзумян, начальник ОРРИ ОИЯИ Е.А.Красавин и А.Н.Сисакян на презентации сборника трудов международной конференции «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», посвященной 90-летию академика Н.М.Сисакяна, который в 1928–1929 гг. был студентом, а в 1945–1950 гг. — профессором ЕГУ



Директор ОИЯИ В.Г.Кадышевский (в центре), вице-директор ОИЯИ А.Н.Сисакян (справа) и профессор В.В.Папоян на III Международной конференции по классическим и квантовым интегрируемым системам в ЕГУ (Ереван, 1998)

## СОДЕРЖАНИЕ

Х.У.Абраамян, А.С.Галоян, В.М.Изьюров, М.А.Кожин,  
Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян, А.Г.Худавердян,  
С.А.Чатрчян

Исследование рождения нейтральных  $\pi$ ,  $\eta$ ,  $\omega$  - мезонов и  $\gamma$ -квантов  
в ядро-ядерных взаимодействиях на синхрофазатроне  
и нуклотроне ОИЯИ 7

И.Адам, Г.С.Айвазян, А.Р.Балабекян, А.С.Данагулян  
В.Г.Калинников, Л.Г.Мартirosян, В.И.Стегайлов,  
В.И.Фоминых, П.Чалоун, А.Н.Приемышев, Яр.Франа

Исследование протон-ядерных и ядро-ядерных реакций  
на разделенных изотопах олова 13

Р.Г.Айрапетян, Е.П.Жидков, И.В.Пузынин

Численные методы решения обратных задач квантовой  
теории рассеяния 16

Е.М.Акопян, А.А.Измestьев, Г.С.Погосян, А.Н.Сисакян

Суперинтегрируемые системы в пространствах  
постоянной кривизны 20

Г.М.Арзуманян, С.Г.Арутюнян, К.Ш.Восканян,  
Е.А.Красавин, А.В.Рзянина

Исследование влияния модификаторов на выход точковых  
мутаций в клетках дрожжей 27

П.Ж.Асланян, Б.А.Шахбазян, А.А.Кузнецов,  
А.Г.Худавердян, Ю.А.Троян, Т.А.Волоховская,  
В.Н.Емеляненко, А.С.Мартынов

Поиск экзотических странных стабильных и метастабильных  
дибарионных резонансов 30

С.И.Баструков, В.В.Папоян

Нерадиальные гравитационные и магнитогидродинамические  
колебания нейтронной звезды 33

<p><i>Ю.А.Будагов, В.Н.Шигаев, А.Р.Аствацатуров, А.Э.Лазиев, И.А.Суслов, С.В.Клименко, Е.А.Слободюк, В.Д.Самойленко, В.Ф.Уразметов, С.В.Нелюбов</i></p> <p><b>Исследование и разработка искусственных нейронных сетей для задач физики высоких энергий</b></p>	<b>35</b>
<p><i>А.В.Карабегов</i></p> <p><b>Математические аспекты квантования</b></p>	<b>40</b>
<p><i>И.В.Луценко, В.А.Сарин</i></p> <p><b>Корреляционный механизм цвета и прозрачности кристаллов</b></p>	<b>44</b>
<p><i>Л.Г.Мардоян, А.Н.Сисакян, В.М.Тер-Антонян</i></p> <p><b>Проблема генерации дионов в квантовой механике</b></p>	<b>46</b>
<p><i>А.Нерсесян</i></p> <p><b>Антискобки: геометрия и физика</b></p>	<b>51</b>
<p><i>В.В.Папоян, В.Н.Первушин</i></p> <p><b>Наблюдаемые Фридмановской вселенной в классическом и квантовом Гамильтоновом формализме</b></p>	<b>55</b>
<p><i>Вл.В.Папоян</i></p> <p><b>Модели самоорганизованной критичности</b></p>	<b>58</b>
<p><i>О.М.Худавердян</i></p> <p><b>Геометрические и алгебраические аспекты некоторых проблем квантовой теории поля</b></p>	<b>62</b>

# ИССЛЕДОВАНИЕ РОЖДЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ $\pi$ , $\eta$ , $\omega$ - МЕЗОНОВ И $\gamma$ -КВАНТОВ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ И НУКЛОТРОНЕ ОИЯИ

Х.У.Абрамян, А.С.Галоян, В.М.Изьюров, М.А.Кожин,  
Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян, А.Г.Худавердян,  
С.А.Чатрчян

Основная фундаментальная проблема, в рамках которой проводятся эти исследования – квантовая хромодинамика на больших расстояниях. Проводимые эксперименты направлены на исследование продольной и поперечной компонент импульсного распределения кварков в нуклоне и ядрах. Количественные оценки этих компонент позволят определить характер взаимодействия кварков на расстояниях, сравнимых с размерами нуклона. Сравнения указанных распределений в нуклоне и различных ядрах позволят оценить роль коллективных эффектов в ядре: флуктуации плотности, корреляции между нуклонами и обобществления валентных кварков, принадлежащих различным нуклонам. Кроме этого, целью проводимых экспериментов является получение информации, необходимой для выяснения механизма рождения мезонов вблизи и за кинематической границей для нуклон-нуклонных столкновений.

В рамках указанной проблемы осуществляется решение следующих задач:

а) Экспериментальное исследование рождения нейтральных частиц ( $\pi^0, \eta, \omega$ ) и  $\gamma$ -квантов в инклюзивных процессах:

$$A_p + A_T \rightarrow (\pi^0, \eta, \omega) + x, \quad (1)$$

где  $A_p$ -ускоряемое ядро: 1) пучки  $p, d, \alpha, C$  Синхрофазотрона ОИЯИ (импульс пучка 4.5 ГэВ/с на нуклон, 2) пучки Нуклотрона с импульсом  $2 \text{ ГэВ/с} \leq P_A \leq 6 \text{ ГэВ/с}$  на нуклон;  $A_T = C, Cu, Pb$  - ядра мишени на выведенных пучках Синхрофазотрона, или  $A_T = C, Au, \dots$  - внутренние

мишени Нуклотрона. Предполагается исследование реакции (1) в широком диапазоне продольной и поперечной компонент импульсов образуемых частиц, измерение двойного дифференциального сечения реакции и определение параметров, характеризующих кварк-партонную структурную функцию ядер  $A_p$  в области  $0.6 \leq X \leq 2$  и  $0 \leq P_{\perp} \leq 1$  ГэВ/с, где  $X$  - кумулятивное число,  $P_{\perp}$  - поперечный импульс мезона.

б) Исследование струйного механизма в процессах множественного образования нейтральных частиц ( $N_{\pi^0} \geq 2; N_{\eta} \geq 2; \dots$ ). Исследование характеристик струй в зависимости от степени "кумулятивности" процесса (максимального значения переменной  $X$  в событии).

Решение задачи осуществляется на 90-канальном черенковском  $\gamma$ -спектрометре Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Подробное описание установки содержится в работе [2]. Аппаратура позволяет измерять как направления, так и энергии  $\gamma$ -квантов, образованных в реакции (1). Модули  $\gamma$ -спектрометра работают независимо и могут быть собраны в матрицы различных размеров. При расстоянии от центра мишени до  $\gamma$ -спектрометра 350 см (разрешение по углу  $< 0.7^\circ$ ) угловой интервал регистрируемых  $\pi^0$ - мезонов  $\delta\theta = \pm 16^\circ$ , что обеспечивает диапазон поперечных импульсов, измеряемых в одном эксперименте, практически от 0 до 1 ГэВ/с.

Имеющиеся в настоящее время данные о рождении мезонов в ядроядерных взаимодействиях вблизи и за кинематической границей для нуклон-нуклонных столкновений, в основном получены для заряженных частиц и относятся к области до энергии 3 ГэВ/нуклон. В экспериментах, выполненных группой Мёллера и др. (Беркли) получены нетривиальные зависимости сечения от атомных весов ядра-снаряда и ядра-мишени, а именно: аномально сильная зависимость от веса ядра-снаряда в области  $X > 1$  (как  $A_p^{\approx 2.0}$  для ядер  $\alpha$  и  $C^{12}$  при  $X \sim 2$ ). Значение степени в  $A$ -зависимости для ядра-мишени приближается к  $\sim 0.4$  при  $X \geq 0.6$ .

Особенность нашей постановки - это возможность измерения в одном эксперименте мезонов в широком интервале поперечных импульсов, что позволяет подробно исследовать зависимость степеней  $m$  и  $n$  в параметризации  $Ed\sigma/d\vec{p} \sim A_p^m$  (или  $A_t^n$ ) как от  $x_F$  и  $X$ , так и от поперечного импульса мезонов в интервале до 1 ГэВ/с.

Результаты, полученные группой за последние годы опубликованы в работах [1 - 10].

К настоящему времени завершен цикл экспериментов на Синхро-

фазотроне ОИЯИ по инклюзивному образованию нейтральных пионов в протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4.5 ГэВ/с. Завершена обработка экспериментальных данных, полученных на пучках протонов и ядер  $d$ ,  $\alpha$  и  $^{12}C$ .

Получены следующие основные результаты.

а. Впервые, в одном эксперименте, измерены зависимости параметра  $m$  в параметризации  $Ed^3\sigma/d^3p \sim A_B^m$ , где  $A_B$  - масса снаряда, как от  $X$ , так и от поперечного импульса пионов. Зависимость инвариантного сечения от массы ядра-снаряда определяется, в основном величиной  $X$ , а не поперечного импульса, указывая тем самым в пользу механизма рождения пионов с  $X > 0.9$  через флуктуативное образование в ядре многокварковых конфигураций, а не через многократные столкновения нуклонов. Непосредственно из эксперимента определен параметр  $p_6$  - вероятность образования таких конфигураций.

б. На статистике 37 тысяч  $\pi^0$ -мезонов впервые измерено двойное дифференциальное сечение реакции  $d + C \rightarrow \pi^0 + x$  при импульсе 4.5 ГэВ/с на нуклон. Найденные в области углов вылета  $\pi^0$ -мезонов  $\theta_\pi \leq 10,6^\circ$  закономерности указывают на существование промежуточного объекта со скоростью  $\beta = 0.62 \pm 0.04$ , в результате распада которого рождается регистрируемый  $\pi^0$ -мезон. В области  $\theta_\pi > 10,6^\circ$  указанная закономерность нарушается, что указывает на смену доминирующего механизма рождения  $\pi^0$ -мезонов в этой области углов.

в. Найдено факторизованное представление инвариантного сечения реакции  $p + C \rightarrow \pi^0 + x$  при импульсе 4.5 ГэВ/с, в области  $x_F \geq 0.66$ :

$$Ed^3\sigma/d^3p = c \cdot (a - x_F)^N \cdot \Phi(p_\perp^2),$$

где  $a = 1,032 \pm 0,008$ ;  $N = 2,79 \pm 0,13$ ;

$$\Phi(p_\perp^2) = \exp[-p_\perp^2/(0,10 \pm 0,01)], \quad p_\perp \text{ в ГэВ/с}$$

при  $\chi^2/\text{степ.своб.} = 5.1/11$ . Найденная закономерность позволяет интерпретировать функцию  $\Phi(p_\perp^2)$  как импульсное распределение кварков в системе покоя протона.

г. На пучке релятивистских ядер синхрофазотрона ОИЯИ изучена возможность калибровки гамма-спектрометра из свинцового стекла с помощью стриппинговых фрагментов налегающих ядер. Найдено, что в области импульсов  $\geq 3$  ГэВ/с на нуклон оптимальными для калибровки являются фрагменты  $He^3$  ввиду высокого амплитудного разрешения ( $\sigma/A \sim 3\%$ ) при незначительном влиянии на энергетический эквивалент неупругих процессов.

д. Проведено сравнение величин  $X_0$  в параметризации  $E d^3\sigma/d^3p \sim \exp(-X/X_0)$ , полученных при разных энергиях налетающих ядер гелия и углерода. Установлено, что с увеличением атомного веса фрагментирующего ядра выход сечения на скейлинговый режим (выход на "плато" параметра  $X_0$ , характеризующего кварк-партонную структурную функцию ядра) наступает при более высоких энергиях.

Первый сеанс ускорения на новом сверхпроводящем ускорителе Нуклотрон был проведен в марте 1994 г. [4]. В этом эксперименте были проведены измерения на пучке дейтронов с импульсом 3,8 ГэВ/с, с использованием внутренней Au-мишени. Цель этих измерений – оценка фоновых условий и изучение возможностей регистрации  $\pi^0$ -мезонов в экспериментах на внутренних пучках Нуклотрона с применением многоканального ( $2 \times 16$  каналов) черенковского  $\gamma$ -спектрометра из свинцового стекла. В результате анализа данных найдены оптимальные условия отбора сигналов и показана возможность надежной идентификации  $\pi^0$ -мезонов. Путем моделирования процесса рождения  $\eta$ - и  $\Phi$ -мезонов в условиях эксперимента показана возможность исследования этих процессов в области начальных энергий до 6 ГэВ/нуклон, доступных на Нуклотроне.

В апреле 1997 г. был осуществлен первый эксперимент по набору физической информации на внутреннем пучке дейтронов с импульсом 2.3 ГэВ/с на нуклон. Обработка полученных экспериментальных данных в настоящее время продолжается.

Результаты представлялись на V Международной конференции по ядро-ядерным взаимодействиям в Таормине, Италия, 1994; на рабочем совещании по перспективам развития релятивистской ядерной физики в Варне, Болгария, 1994; в Институте физики Варшавского технологического университета, Варшава, 1996, а также на XI – XIII международных семинарах по проблемам релятивистской ядерной физики, Дубна, 1992 – 1996 г.г.

Работы проводятся в рамках проекта первого приоритета СФЕРА и поддерживаются Российским фондом фундаментальных исследований (грант N 95-02-04802, руководитель – Х.У.Абраамян).

В перспективе планируется:

- а. Анализ полученных экспериментальных данных в рамках различных теоретических моделей образования мезонов;
- б. Исследование рождения тяжелых мезонов ( $\eta, \omega, \dots$ ) в ядро-ядерных столкновениях. Сопоставление выходов нейтральных пионов и более

тяжелых мезонов, содержащих в качестве валентных, морских кварков позволит получить дополнительную информацию о механизме реакции.

в. Исследование множественного рождения нейтральных пионов, сравнение средних поперечных импульсов частиц в конечном состоянии с результатами для инклюзивных процессов. Эти данные позволят определить роль глюонов в процессах множественного образования мезонов. Для исследования струй предполагается применение релятивистски инвариантного метода анализа данных с помощью переменной  $b_k = -(V - u_k)^2$ , где  $u_k$  — 4-скорость  $k$ -ой частицы в событии,  $V = (\Sigma u_k) / [(\Sigma u_k^2)]^{1/2}$  — единичный 4-вектор вдоль предполагаемой оси струи. Имеющиеся результаты для заряженных адронов относятся к области относительных 4-скоростей  $b_k \geq 3$ . Особенностью нашей постановки является относительно высокая эффективность регистрации событий при предельно малых относительных 4-скоростях, что позволит подробно исследовать область  $b_k < 3$ . Полученные данные позволят проверить предположение о том, что в различных типах взаимодействий источником пионных струй являются цветные объекты с одинаковыми значениями эффективной массы.

г. Поиск возможных проявлений  $\pi$ -конденсации в центральных ядроядерных столкновениях, когда может быть достигнута критическая плотность ядерной материи с нарушением пионного вакуума.

## Литература

1. Kh.U.Abraamyan et al., *Inclusive neutral pion production at forward angles at 4.5 GeV/c per nucleon in nucleus-nucleus reactions*. In: XI Intern.Seminar on High Energy Phys. Problems. Abstracts. JINR, E1,2-92-371, Dubna, 1992, p.54.
2. Kh.U.Abraamyan et al., *Inclusive neutral pion production at forward angles at 4.5 GeV/c per nucleon in  $\alpha+C \rightarrow \pi^0+x$  and  $\alpha+Cu \rightarrow \pi^0+x$  reactions*. Preprint JINR, E1-92-307, Dubna, 1992, Phys. Lett. **B323** (1994), p.1.
3. Х.У.Абраамян и др. *Инклюзивное образование  $\pi^0$ -мезонов в  $pC$ - и  $pCu$ -взаимодействиях при импульсе 4.5 ГэВ/с*. Препринт ОИЯИ P1-94-289, Дубна, 1994, ЯФ, **59** (1996), с.271.
4. А.М.Baldin, Kh.U.Abraamyan et al., *An experimental run on the new superconducting accelerator Nuclotron at 3.8 and 6.2 GeV/c deuteron*



- momentum. Краткие сообщения ОИЯИ № 2[65]-94, Дубна, 1994, с.26, Nuclear Physics **A583** (1995), p.637.
5. Kh.U.Abraamyan et al., *Investigations of neutral particle production by relativistic nuclei on the LHE 90-channel  $\gamma$ -spectrometer. Results and perspectives.* Краткие сообщения ОИЯИ № 5[68]-94, Дубна, 1994, с.29.
  6. Х.У.Абраамян, С.А.Чатрчян. *Анализ модели кварковой рекомбинации по А-зависимости сечения образования пионов в протон-ядерных столкновениях.* Препринт ОИЯИ, P1-94-497, Дубна, 1994.
  7. Kh.U.Abraamyan et al., *Analysis of meson production models in relativistic nucleus-nucleus collisions by the dependence of cross section on nucleus-target mass.* In: XII Intern.Seminar on High Energy Phys. Problems. Abstracts. JINR, E1,2-94-358, Dubna, 1994, p.25.
  8. Х.У.Абраамян и др. *Калибровка черенковского гамма-спектрометра релятивистскими ядрами.* Препринт ОИЯИ. P1-95-532, Дубна, 1995, ПТЭ, № 6 (1996), с.5.
  9. Kh.U.Abraamyan et al., *Inclusive neutral pion production in proton-nucleus and nucleus-nucleus interactions at a momentum of 4.5 GeV/c per nucleon.* In: XIII Intern. Seminar on High Energy Phys. Problems. Abstracts. JINR, E1,2-96-314, Dubna, 1996, p.122.
  10. Х.У.Абраамян и др. *Инклюзивное образование  $\pi^0$ -мезонов в  $CC$ -и  $CCu$ -взаимодействиях при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон.* Препринт ОИЯИ, P1-96-493, Дубна, 1996; ЯФ, (в печати)

**АБРАМЯН ХАЧИК УНАНОВИЧ**, родился в 1958 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1980г., кандидат физ.мат. наук (1994г., ЛВЭ ОИЯИ, диссертация "Инклюзивное образование нейтральных пионов в протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4.5 ГэВ/с на нуклон"), до 1992г. м.н.с. кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц ЕГУ, начиная с 1993г. по н/в с.н.с. ЛВЭ. Телефон: 62877, E-mail: abraam@sunhe.jinr.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОН - ЯДЕРНЫХ И ЯДРО - ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ НА РАЗДЕЛЕННЫХ ИЗОТОПАХ ОЛОВА

И.Адам, Г.С.Айвазян, А.Р.Балабекян, А.С.Данагулян,  
В.Г.Калинников, Л.Г.Мартirosян, В.И.Стегайлов,  
В.И.Фоминых, П.Чалоун, А.Н.Приемышев, Яр.Франа

В последние годы возрос интерес к исследованию адрон-ядерных и фотоядерных реакций с использованием в качестве мишеней разделенных изотопов с высокими обогащениями. Выбор таких мишеней позволяет выявить структурные характеристики как ядер-мишеней, так и остаточных ядер, в частности изоспиновая зависимость сечений остаточных ядер в реакциях расщепления дает сведения об изобарической инвариантности ядерных сил. Помимо этого создается возможность для обсуждения механизмов образования высокоспиновых состояний, возбуждения ядер, влияния спинового и энергетического распределения уровней на выходы различных изомеров путем исследований изомерных отношений сечений или выходов остаточных ядер. Кроме того, исследование зависимости изомерных отношений от числа нейтронов мишени позволяет учитывать также особенности структур ядер.

С середины 70-х годов на кафедре ядерной физики ЕГУ проводились исследования фотоядерных реакций на разделенных изотопах в массовой области мишеней  $24 < A < 130$  с непрерывным пучком фотонов с максимальной энергией 4.5 ГэВ. Были получены интересные результаты относительно механизмов фотоядерных реакций, структуры ядер и характера ядерных сил. Исследование протон-ядерных реакций являются продолжением этих работ и ведутся совместно с сотрудниками НЭОЯС и РХ ЛЯП ОИЯИ (Дубна). Разделенные изотопы олова облучаются протонами с энергией 0.66ГэВ, 1 ГэВ и 8 ГэВ на синхрофазатроне ЛЯП ОИЯИ и на синхротроне ЛВЭ ОИЯИ. В качестве мишени выбрано олово, потому что этот элемент имеет самое большое число стабильных изотопов что позволяет в большом диапазоне масс ядра-мишени исследовать изоспиновую зависимость. Спектры наведенных в мишени активностей измеряется на  $\text{HrGe}$  - детекторе в НЭОЯС и РХ. Полученные спектры обрабатываются как в ЕГУ, так и в ОИЯИ.

Цель настоящей работы:

а) Исследование изотопного эффекта (зависимости сечения реакции от изотопного состава ядра-мишени и ядра остатка) в реакциях расщепления (p,xp un), (d,xp un); ( $\alpha$ , xp un), (C,xp un).

б) Исследование реакций расщепления и фрагментации в зависимости от энергии начального пучка.

с) Обнаружение некоторых кинематических характеристик остаточных ядер методом улавливающих фольг.

д) Исследование зависимости образования высоковозбужденных состояний ядер-остатков от числа вылетевших нейтронов.

Полученные за время сотрудничества результаты сводятся к следующему:

При облучении мишеней  $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{118}\text{Sn}$  и  $^{124}\text{Sn}$  протонами с энергией 660 мэВ получены сечения более 20 реакций типа (p,xn), (p,pxn) и (p,2p). Исследование этих сечений показало, что реакций типа (p,n) протекают по зарядово-обменному механизму, а реакций типа (p,pn) и (p,2p) протекают в основном через двухступенчатый механизм (неупругое рассеяние протона на нуклоне ядра и последовательное испарение из него нейтрона (p,pn) или протона (p,2p)). Экспериментальные значения сечения сравнивались с расчетными, сделанными по каскадно-испарительной модели. Из сравнения можно сделать заключения об испарительном характере  $x-1$  нейтронов в реакциях (p,pxn).

В этом эксперименте получены также 9 изомерных отношений (отношение сечения образования высокоспинового состояния ядра-остатка к низкоспиновому) остаточных ядер из каждой мишени олова. Исследования зависимости изомерного отношения от числа вылетевших нейтронов показало, что наряду с каскадно-испарительным процессом при образовании высокоспиновых состояний существует процесс поглощения отрицательных вторичных пионов поверхностными квазидейтронами.

Выявленная зависимость сечения образования ядер-остатков от изотопного состава как ядер-мишеней так и остаточных ядер позволяет говорить о включения члена, учитывающего изоспины ядер-остатков и ядер-мишеней в известную полуэмпирическую формулу Рудстама. Получены также сечения образования фрагментов из мишеней олова и наблюдается энергетическая зависимость этих сечений.

В ходе дальнейшего сотрудничества между ЕГУ и ОИЯИ планируется облучение этих же разделенных изотопов олова дейтронами,  $\alpha$  -

частицами и ионами  $^{12}\text{C}$  с разными энергиями, и исследование механизмов образования остаточных ядер, а также энергетических зависимостей сечений реакций расщеплений.

Экспериментальные данные можно использовать для теоретической интерпретации структуры ядер, а часть полученных результатов в радиационной медицине и в работах по активационному анализу.

Работа выполнена и проводится в рамках протокола о сотрудничестве между ОИЯИ и ЕГУ по теме "Исследование слабых и электромагнитных взаимодействий при низких энергиях". (номер 2966-2-96/98).

## Литература

1. В.Э.Александрян, Г.С.Айвазян, А.Р.Балабекян, А.С.Данагулян, В.Г.Калинников, В.И.Стегайлов, Яр.Франа. *Исследование измерных отношений сечений протон- ядерных реакций на изотопах олова*, ЯФ, **59**, (1996), с.21-25.
2. В.Э.Александрян, А.С.Данагулян, Л.Г.Мартirosян, А.Р. Балабекян, В.Г.Калинников, В.И.Стегайлов, Яр.Франа. *(p,n), (p,xn) и (p,rxn), (p,2p) - реакции на ядрах олова*, Тезисы докладов "Международное совещание по физике ядра" 1996, Москва, с.218.
3. А.С.Данагулян, Л.Г.Мартirosян, Н.С.Амелин, А.Р. Балабекян, В.Г.Калинников, В.И.Стегайлов, Яр.Франа. *Исследование реакций (p,xn), (p,rxn) и (p,2p) на изотопах олова*, ЯФ, **60**, (1997), с.1-5.
4. И.Адам, А.Р.Балабекян, В.Г.Калинников, В.И.Стегайлов, Г.С.Айвазян, А.С.Данагулян, Л.Г.Мартirosян, Яр. Франа. *Исследование реакций (p, xp, ur) на изотопах олова*, Тезисы докладов Международного совещания "Свойства ядер, удаленных от долины стабильности", 1997, Обнинск, с.151.

**БАЛАБЕКЯН АНАИТ РАФИКОВНА**, родилась в 1955 году, окончила физический факультет ЕГУ в 1978г., кандидат физ.-мат. наук (1993г. ЛЯП ОИЯИ, диссертация "Фоторасщепление изотопов олова и исследование простых реакций под действием гамма квантов тормозного излучения"), до 1992 года н.с. кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц ЕГУ, с 1995 года старший инженер, а с 1977 с.н.с. ЛЯП ОИЯИ

E-mail: anahit@nusun2.jinr.dubna.su

# ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ

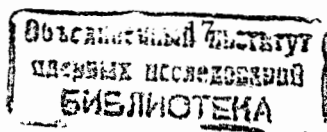
Р.Г. Айрапетян, Е.П. Жидков, И.В. Пузынин

Задача численного восстановления потенциала взаимодействия по данным рассеяния хорошо известна и важна как с точки зрения вычислительной математики, так и для анализа результатов физических экспериментов. Поэтому в научной литературе ей уделено достаточно много места (К.Шадан, П.Сабатье, Обратные задачи в квантовой теории рассеяния. Мир, Москва, 1980.). Как известно, основными методами решения обратных задач являются методы Марченко, Крейна и Гельфанда-Левитана, позволяющие сводить эти задачи к интегральным уравнениям. В то же время разработка соответствующих численных алгоритмов сопряжена с трудностями, связанными с некорректностью этих задач, т.е. с неустойчивостью по отношению к возмущениям исходных данных (см., например А.М. Денисов. О численном решении обратной задачи рассеяния. Ж.вычисл. матем.и матем. физ. 17, (1977), N 3, 753-756.). Последнее обстоятельство ограничивает применимость упомянутых методов решения обратных задач квантовой теории рассеяния в прикладных исследованиях и вынуждает многих авторов сводить решение задачи к подбору нескольких параметров в заранее подобранной форме потенциала. Более эффективными являются алгоритмы, основанные на методах регуляризации некорректных задач.

Предложенные нами методы можно условно разделить на две группы. В первую входят методы численного восстановления потенциала по значениям фазового сдвига при нулевом орбитальном моменте, полученные совместно с Е.П. Жидковым (ЛВТА ОИЯИ), Р.Л.Шахбагяном (ЕГУ) и Я. Буша (Технический университет Кошице, Словакия) [1,2,3]. В основе их реализации лежит анализ асимптотического поведения данных рассеяния при высоких энергиях, позволяющий построить регуляризованные алгоритмы, основанные на методах Крейна и Марченко. А именно, для потенциалов, имеющих абсолютно суммируемую производную, асимптотическое поведение фазового сдвига и функции Йоста при высоких энергиях позволяет выделять из них условно сходящуюся

часть, для которой преобразование Фурье точно вычисляется. Далее, при решении линейных систем, получающихся в результате дискретизации интегральных уравнений Марченко и Крейна, используется асимптотическое по шагу дискретизации обращение матриц, что, в конечном счете, дает возможность избежать неустойчивой процедуры численного дифференцирования. Доказана теорема об устойчивости построенных численных алгоритмов. Алгоритмы успешно реализованы на компьютере. Проведенные численные эксперименты продемонстрировали их высокую точность и устойчивость по отношению к возмущениям исходных данных.

Во вторую группу входят методы, основанные на Непрерывном Аналоге Метода Ньютона (НАМН) и его модификациях, полученные совместно с И.В.Пузыниным и Е.П. Жидковым (ЛВТА ОИЯИ). Предложена новая модификация метода [4]. Она позволяет избежать производимого в НАМН на каждом шаге итераций обращения операторной производной Фреше. Вместо этого, при реализации предлагаемого метода, нужно обращать производную Фреше только в точке начального приближения. Затем, введенная в работе расширенная система дифференциальных уравнений в гильбертовом пространстве позволяет производить итерации с одновременным вычислением оператора обратной производной. Для предложенного метода доказана теорема о сходимости, по существу, при тех же ограничениях, что и известная теорема сходимости для НАМН. Эффективность метода проиллюстрирована на примере нелинейного гиперболического уравнения (уравнение Кирхгофа). Предложенная модификация позволяет существенно расширить область его применений, о чем свидетельствует, в частности его успешная реализация в обратной задаче квантовой теории рассеяния. Дело в том, что известные математические методы позволяют восстанавливать потенциал по фазовым сдвигам, заданным либо при фиксированном орбитальном моменте, либо при фиксированной энергии. Однако они неприменимы к более естественной и важной с физической точки зрения задаче восстановления потенциала по фазовому сдвигу заданному на подмножествах  $(l, k)$ -плоскости более общего вида. Нами предложена новая постановка обратной задачи квантовой теории рассеяния: о восстановлении потенциала по значениям фазового сдвига на семействе отрезков в  $(l, k)$ -плоскости, удовлетворяющем введеному в работе [5] условию "Лестница". Предложен, также, численный метод для ее решения, основанный на описанной выше Ньютоновской итераци-



онная схеме с одновременными итерациями обратной производной. Приведены результаты тестирования соответствующих алгоритмов, показавшие их точность.

Предложенные новые постановки и численные методы решения обратных задач квантовой теории рассеяния успешно доложены на нескольких международных конференциях:

1. "Обратная и алгебраическая квантовая теория рассеяния. Балатон 1996", Венгрия.
2. "Обратные и некорректные задачи", МГУ, Москва, 1996.
3. "Математическое моделирование и вычислительная физика", Дубна, 1996.

## Литература

1. Р.Г. Айрапетян, Е.П. Жидков, Р.Л. Шахбагян. Численный метод решения обратной задачи теории рассеяния, основанный на регуляризации по асимптотике, Математическое моделирование, **8**, (1996), 33-48.
2. Р.Г. Айрапетян, Я. Буша, Е.П. Жидков. О регуляризованных численных алгоритмах решения обратной задачи квантовой теории рассеяния, Сообщения ОИЯИ, **Р11-96-38**, Дубна, 1996.
3. Е.П. Жидков, Р.Г. Айрапетян. Численный метод решения обратной задачи квантовой теории рассеяния, Вестн. Моск. Ун-та. Сер.1, Математика, Механика, 1996, N 6.
4. R.G. Airapetyan, I.V. Puzynin. *Newtonian iterative scheme with simultaneous iterations of inverse derivative*, Preprint JINR E11-96-392, 1996, Dubna, Comp. Phys. Comm. (in press).
5. R.G. Airapetyan, I.V. Puzynin, Zhidkov. *Numerical Method for Solving the Inverse Problem of Quantum Scattering Theory*, Lect. Notes Phys., **488**, 1997.

**АЙРАПЕТЯН РУБЕН ГУРГЕНОВИЧ**, родился в 1951 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1973г., аспирантура ЕГУ (1973–1976), кандидат физ. мат. наук (1981 г. Институт математики АН Армении, диссертация "Смешанные задачи для гиперболических уравнений и систем."), до 1994г. доцент кафедры теории оптимального управления и приближенных методов ЕГУ, с 1994г. с.н.с. ЛВТА ОИЯИ.  
E-mail: [airapetyan@vxjinr.jinr.ru](mailto:airapetyan@vxjinr.jinr.ru)



# СУПЕРИНТЕГРИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОСТРАНСТВАХ ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНЫ

Е.М.Акопян, А.А.Изместьев, Г.С.Погосян, А.Н.Сисакян

В последнее десятилетие сильно возрос интерес к теории суперинтегрируемых систем, которая является составной частью теории интегрируемых систем.

Как известно, квантовая или классическая система с  $N$  степенями свободы является полностью интегрируемой, если существует  $N$  независимых интегралов движения (включая Гамильтониан системы), находящихся в инволюции или, в квантовом случае,  $N$  - интегралов движения, коммутирующих с гамильтонианом (теорема Лиувилля). Однако, еще в прошлом столетии были известны классические системы, обладающие бóльшим числом независимых (так называемых дополнительных) интегралов движения, которые необходимы для полного разделения переменных как в уравнении Гамильтона-Якоби, так и в уравнении Шрёдингера. Известно, что число интегралов движения не может превышать  $2N-1$ , где  $N$  - размерность пространства, причем дополнительные интегралы движения коммутируют с гамильтонианом системы, но не обязательно коммутируют между собой. Таким образом, в квантовой механике возникает альтернативный набор операторов описывающих полным образом систему, что, как известно, приводит к частичному или полному вырождению системы по азимутальному и орбитальному квантовым числам.

К наиболее изученным суперинтегрируемым системам относятся случаи:

1. движения частицы в кеплеровом поле, где существует шесть интегралов движения: три компоненты углового момента  $L_i$  и три компоненты вектора Лапласа-Рунге-Ленца  $A_i$ , связанных двумя соотношениями  $L_i^2 + A_i^2 = H$ ,  $L_i A_i = 0$ , и поэтому данная система обладает максимальным числом  $2 \times 3 - 1 = 5$  независимых интегралов движения;
2. движения в поле квадратичного потенциала (гармонический осциллятор), для которого также существует дополнительный интеграл движения - тензор Демкова.

Наличие дополнительных интегралов движения для этих двух центрально-симметричных систем приводит в классической механике к таким интересным свойствам, как замкнутость траекторий для финитного движения (теорема Бертрана), полная разделяемость переменных в нескольких ортогональных системах координат для уравнения Гамильтона-Якоби и Шрёдингера, "случайное вырождение" энергетического спектра по орбитальному и азимутальному квантовым числам и, наконец, существование так называемой группы динамической симметрии, более высокой чем геометрическая симметрия исходного уравнения Шрёдингера (для атома водорода это группа  $O(4)$ , а для осциллятора -  $SU(3)$ ).

Долгое время считалось, что только эти две системы обладают столь выделенными свойствами, однако в середине шестидесятых годов П. Винтернитцем, Я.А.Смородинским с соавторами, а затем в конце восьмидесятых Р.Эвансом были найдены все нецентральные (среди центральных потенциалов только задача Кеплера и гармонический осциллятор согласно теореме Бертрана имеют замкнутые траектории движения) двумерные и трехмерные потенциалы, обладающие дополнительными интегралами движения, причем системы с  $2N - 2$  независимыми интегралами стали называть минимально суперинтегрируемыми, а с  $2N - 1$ , максимально суперинтегрируемыми системами. Некоторые из этих потенциалов (Хартмана или Калоджеро - Мозера) находят применение в молекулярной физике или при решении задачи  $N$  - тел на прямой.

Изучение суперинтегрируемых систем в пространствах постоянной кривизны начато основополагающей работой Шрёдингера, который в 1940 году показал, что, как и в случае плоского пространства, для задачи Кулона-Кеплера на 3 - сфере имеет место полное вырождение по орбитальному и азимутальному квантовым числам. В дальнейшем (Higgs и Leemon, 1979; Богуш, Курочкин и Отчик, 1978) были найдены дополнительные интегралы движения, обобщающие интеграл Лапласа-Рунге-Ленца для кулоновой проблемы и тензор Демкова для осциллятора, и тем самым была выяснена причина вырождения данных систем в случае пространств постоянной кривизны. С другой стороны, несмотря на явное сходство этих задач для пространств постоянной положительной и отрицательной кривизны и соответствующих задач для плоского пространства (разделяемость переменных в нескольких системах координат, степень вырождения энергетического спектра, замкнутость классических орбит и др.), имеется также существенное отличие: ком-

мутационные соотношения между компонентами оператора Лапласа - Рунге - Ленца или тензора Демкова в случае кривых пространств носят нелинейный характер и описываются квадратичными (модными в последнее время)  $W$  - алгебрами. Тем самым, определение симметрий для суперинтегрируемых систем в пространствах постоянной кривизны представляется нетривиальной задачей и фактически связано с проблемой линеаризации  $W$  - алгебр. Было показано также, что при контракции пространств постоянной кривизны, т.е. при стремлении радиуса кривизны  $R$  к  $\infty$ ,  $W$  - алгебры переходят в классические алгебры Ли.

Другой нетривиальной задачей является, с одной стороны, выделение всех суперинтегрируемых потенциалов для пространств постоянной кривизны, а именно, в случае двух-, трех- и  $n$ -мерной сфер и соответствующих двуполостных гиперболоидов, а, с другой стороны, определение разделяющихся систем координат и соответствующих решений уравнений Гамильтона - Якоби и Шрёдингера.

С физической точки зрения, в пользу исследования суперинтегрируемых систем в пространствах постоянной кривизны можно привести два следующих аргумента. Во-первых, как было впервые показано в работах Измествьева, кулоновскую систему на трехмерной сфере можно успешно использовать в качестве модельной при исследовании тяжелых кваркониев, так как сфера, будучи компактным пространством, с одной стороны, обеспечивает "геометрический" и "потенциальный" конфайнмент, а при больших значениях радиуса сферы потенциал системы совпадает с хорошо известным корнелльским потенциалом, а с другой стороны, является точно-решаемой задачей. Во-вторых, задача о движении заряженной частицы в поле двух кулоновских центров, в отличие от аналогичной задачи в плоском пространстве, обладает только дискретным спектром и может служить модельной задачей при исследовании задачи трех тел в адиабатическом приближении.

За последние пять лет (1992-1997) нами рассмотрен и решен ряд задач, связанных с дальнейшим изучением суперинтегрируемых квантовых систем, таких, как гармонический осциллятор, кулоновский потенциал, потенциалы типа Смородинского - Винтернитца, Калоджеро-Мозера, Расахатиуса и других, как в плоском евклидовом пространстве так и в пространствах постоянной положительной кривизны.

К основным результатам можно отнести следующие:

1. Получено радиальное уравнение Шрёдингера в дискретном импульсном представлении для центральных потенциалов на трехмерной

сфере [1] и вычислена квазирадиальная кулоновская функция в этом представлении [2].

2. Проведено исследование изотропного гармонического осциллятора в трехмерной эллипсоидальной системе координат [3].

3. Построено решение уравнения Гельмгольца на трехмерной сфере в эллипсо-цилиндрических I и II, и эллипсоидальной системах координат [4,5]. Найдены разложения эллипсо-цилиндрических I и II базисов по более простым цилиндрическому и гиперсферическому, что устанавливает дополнительные, ранее не известные, связи между специальными функциями.

4. Вычислены межбазисные разложения для суперинтегрируемых систем типа Хартмана, обобщенного сингулярного осциллятора, системы с абелевым монополем в теории Калуцы - Клейна, для потенциала гармонического осциллятора и задачи Кеплера на трехмерной сфере [6-12].

5. Построены все суперинтегрируемые потенциалы на двух- и трехмерном пространствах постоянной положительной и отрицательной кривизны, обобщающие соответствующие системы в плоском евклидовом пространстве [13-16]. Используя метод континуального интегрирования, исследованы все точно-решаемые случаи, соответствующие разделению переменных в различных системах координат.

6. Исследованы контракции групп  $O(3)$  и  $O(2,1)$  на евклидову группу  $E(2)$  и прослежены переходы между системами координат, интегралами движения и базисными функциями (для уравнения Гельмгольца), определенными на двумерной сфере и на двумерной плоскости [17,18]. Изучены предельные  $R \rightarrow \infty$  переходы между различными разделяющимися системами координат на трехмерной сфере и в трехмерном плоском пространстве [19]. Для случая  $n$ -мерной сферы аналогичные задачи в случае так называемых подгрупповых координат рассмотрены в работе [20].

7. С помощью метода Нивена построены все возможные полиномиальные базисы для двумерных суперинтегрируемых потенциалов, определенных на двумерной сфере и в двумерном евклидовом пространстве [21], а также на двумерном двулопостном гиперboloиде [22,23]. Показано, что соответствующие интегралы движения удовлетворяют нелинейным коммутационным соотношениям и описываются с помощью квадратичных алгебр.

В дальнейшем планируется продолжить исследования по теории суперинтегрируемых систем в пространствах постоянной кривизны, а так-

же применить развитую методику для решения задач с двумя кулоновскими центрами на трехмерной сфере и в физике тяжелых кварков.

## Литература

1. С.И.Виницкий, В.Н.Первушин, Г.С.Погосян, А.Н.Сисакян. Уравнение для квазирадиальных функций в импульсном представлении на трехмерной сфере. ЯФ, **56(8)**, (1993), 62.
2. С.И.Виницкий, Л.Г.Мардоян, Г.С.Погосян, А.Н.Сисакян, Т.А.Стриж. Атом водорода в искривленном пространстве. Разложение по свободным решениям на трехмерной сфере. ЯФ, **56(3)**, (1993), 61.
3. W.Kallies, I.Lukach, G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *Ellipsoidal Basis for Isotropic Oscillator*. Communication JINR, E2-94-230, (1994), Dubna.
4. C.Grosche, Kh.G.Karayan, G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *Free Motion on the Three-Dimensional Sphere: The Ellipso-Cylindrical Bases*. J.Phys., **A30**, (1997), 1629.
5. R.G.Airapetyan, Kh.G.Karayan, G.S.Pogosyan, A.N.Sissakian. and D.I.Zaslavsky. *Quantum Motion on the Three-Dimensional Sphere. Ellipsoidal Bases*. JINR Preprint E2-96-117, (1996), Dubna.
6. M.Kibler, L.G.Mardoyan and G.S.Pogosyan. *On a Generalized Kepler - Coulomb System: Interbasis Expansions*. Inter. J. Quantum Chemistry, **52**, (1994), 1301.
7. M.Kibler, L.G.Mardoyan and G.S.Pogosyan. *On a Generalized Oscillator System: Interbasis Expansions*. Inter. J. Quantum Chemistry, **63**, (1997), 133.
8. C.Grosche, G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *On the Interbasis Expansion for the Kaluza-Klein Monopole System*. Annalen der Physik, **6**, (1997), 144.
9. Ye.M.Hakobyan, G.Pogosyan, A.N.Sissakian and S.I.Vinitsky. *Isotropic oscillator in the space of constant positive curvature. Interbasis expansions*. Preprint JINR, E2-97-317, Dubna, 1997; quant-ph/9710045, ЯФ, **62**, (1999).

10. Ye.M.Hakobyan, M.Kibler, G.Pogosyan and A.N.Sissakian. *On a Generalized Oscillator: Invariance Algebra and Interbasis Expansions*. Preprint JINR, E2-97-379, Dubna, 1997; quant-ph/9712014.
11. Ye.M.Hakobyan, G.S.Pogosyan. *On Interbasis Expansion for Isotropic Oscillator on Two-Dimensional Sphere*. Preprint JINR, E2-98-82, Dubna, 1998; quant-ph/9803085
12. G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *On the Kepler-Coulomb problem in the three-dimensional space with constant positive curvature*. JINR Preprint E2-96-87, (1996), Dubna.
13. C.Grosche, G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *Path Integral discussion for Smorodinsky - Winternitz Potentials: I. Two - and three - Dimensional Euclidean Space*. Fortschritte der Physik, **43(6)**, (1995), 453.
14. C.Grosche, G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *Path Integral discussion for Smorodinsky - Winternitz Potentials: II. Two - and three - Dimensional Sphere*. Fortschritte der Physik, **43(6)**, (1995), 523.
15. C.Grosche, G.S.Pogosyan, A.N.Sissakian. *Path Integral Approach to Superintegrable Potentials. Two - Dimensional Hyperboloid*. ЭЧАЯ, **27(3)**, (1996), 593.
16. C.Grosche, G.S.Pogosyan and A.N.Sissakian. *Path Integral discussion for Superintegrable Potentials: IV. Three - Dimensional Pseudosphere*. ЭЧАЯ, **28(5)**, (1997), 1229.
17. A.A.Izmest'ev, G.S.Pogosyan, A.N.Sissakian and P.Winternitz. *Contraction of Lie Algebras and Separation of Variables*. J.Phys., **A29**, (1996), 5940.
18. A.A.Izmest'ev, G.S.Pogosyan, A.N.Sissakian and P.Winternitz. *Contraction of Lie Algebras and Separation of Variables. Two-Dimensional Hyperboloid*. Inter.J.Mod.Phys. **A12(1)**, (1997), 53.
19. A.A.Izmest'ev, and G.S.Pogosyan. *Contraction of Lie Algebras and Separation of Variables on Three-Dimensional Sphere*. In Proceedings "Physical Applications and Mathematical Aspects of Geometry, Groups, and Algebras", Volume 1, Editors: H.-D. Doebner, W. Scherer, P. Nattermann. World Scientific, Singapore, (1997), 137.

20. A.A.Izmest'ev, G.S.Pogosyan, A.N.Sissakian and P.Winternitz. *Contractions of Lie Algebras and Separation of Variables. The n-dimensional sphere.* J. Math.Phys., **V40**, (1999), 1549.
21. E.G.Kalnins, W.Miller Jr. and G.S.Pogosyan. *Superintegrability and associated polynomial solutions. Euclidean space and sphere in two-dimensions.* J.Math.Phys. **37**, (1996), 6439.
22. E.G.Kalnins, W.Miller Jr. and G.S.Pogosyan. *Superintegrability on two-dimensional hyperboloid.* J.Math.Phys. **38**, 1997, 5416.
23. Ye.M.Hakobyan, E.G.Kalnins, W.Miller Jr. and G.S.Pogosyan. *Superintegrability in two dimensional hyperboloid II.* J.Math.Phys., **40**, 2291-2306, 1999.

**ПОГОСЯН ГЕОРГИЙ САМВЕЛОВИЧ**, родился в 1952 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1975г, кандидат физ.-мат. наук (1982г, ЛТФ ОИЯИ, диссертация "Межбазисные переходы в квантовых системах со скрытой симметрией"), до 10.12.1991г.– заведующий Лабораторией физики высоких энергий ЕГУ, с 22.12.1991г.– с.н.с. ЛТФ ОИЯИ.

Телефон: 63153; E-mail: pogosyan@thsun1.jinr.dubna.su

**АКОПЯН ЕРАНУИ МОИСОВНА**, родилась в 1973 году, окончила физический факультет ЕГУ в 1996г., с 20.05.1997г.– м.н.с. ЛТФ ОИЯИ.

Телефон: 64535; E-mail: yera@thsun1.jinr.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРОВ НА ВЫХОД ТОЧКОВЫХ МУТАЦИЙ В КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ

Г.М.Арзуманян, С.Г.Арутюнян, К.Ш.Восканян,  
Е.А.Красавин, А.В.Рзянина

Исследование механизмов и закономерностей выхода генных и хромосомных мутаций на клетках низших эукариот - дрожжах, представляет особый интерес, так как на этом объекте при сравнительно более простой методике исследований можно наблюдать те же закономерности, что и на клетках млекопитающих.

Ранее в отделе радиобиологии ОРРИ ОИЯИ в экспериментах с клетками *Bacillus subtilis* была изучена индукция  $his^- - his^+$  мутантов в вегетативных клетках и спорах при  $\gamma$ -облучении и действии тяжелых ионов (ЛПЭ=20-80 кэВ/мкм) [1]. Было показано [2,3], что дозовые зависимости индукции мутаций в вегетативных клетках могут быть описаны линейно-квадратичными функциями как в случае  $\gamma$ -облучения, так и при действии тяжелых ионов. Установлено, что в диапазоне доз (приблизительно до 80 Гр) все дозовые кривые носят линейный характер. Для более высоких доз линейные функции преобразуются в квадратичные. Зависимость относительной биологической эффективности (ОБЭ) излучений от их ЛПЭ для квадратичного компонента кривой мутагенеза у вегетативных клеток имеет локальный максимум.

Получение подобных результатов для клеток эукариот представляет большой научный и практический интерес. Поэтому на дрожжевых клетках [4-5] также были начаты исследования закономерностей индукции точковых мутаций. Впервые была использована новая тест-система, позволяющая тестировать 6 типов замен пар оснований у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Эти штаммы сконструированы проф. Хэмпси из Университета штата Луизианы (США). Тест-система основана на том, что положение 22 цистеина в белке изо-цитохром-с является критическим. Сконструированы 6 штаммов, имеющие в этом положении замены пар оснований, что приводит к инактивации фермента и неспособности расти на среде с несбраживаемым источником углерода. Восстановление функциональной активности возможно только за счет истинных реверсий, восстанавливающих кодон цистеина в положении 22.



Таким образом, получена простая и надежная система, позволяющая определять происходящие в клетке изменения нуклеотидной последовательности ДНК без использования сложных методик секвенирования ДНК. В настоящее время нами получены кривые выживания и частоты мутирования для двух диплоидных штаммов этих дрожжей; для штаммов УМН-52 и УМН-55 при их облучении  $\gamma$ -лучами. В первом штамме в результате облучения в ДНК происходит GC - AT транзиция, а во втором штамме GC - CG трансверсия. Результаты исследований показали, что штамм УМН 52 более резистентен по чувствительности к  $\gamma$ -облучению, однако частота мутирования этого штамма на много выше. В настоящее время ведутся исследования по воздействию  $\alpha$ -частиц на эти штаммы. Планируется проведение экспериментов по воздействию различных модификаторов на выживаемость и выход мутантов дрожжей в зависимости от ЛПЭ ионизирующего излучения. Эти результаты внесут ясность при выявлении механизмов возникновения этих мутаций. Известно, что как гибель клеток, так и возникновение в них мутаций связано с повреждениями ядерного ДНК, поэтому параллельно ведутся исследования по воздействию ионизирующих излучения с различной ЛПЭ на чистый ДНК и хроматин. Сопоставление этих результатов с результатами по летальному и мутагенному воздействию излучений на дрожжи позволит нам иметь полную картину последствий облучения клеток.

## Литература

1. S.Kozubek et al., Radiation Research, **141**, (1995), 199.
2. A.V.Boreyko, E.A.Krasavin. Tenth International Congress of Radiation Research, Wurzburg, Germany, (1995), 163.
3. A.V.Boreyko, E.A.Krasavin. In: Symposium on Radiation Biology and its Application in Space Research, Brno, Czech Republic, (1995), (in press).
4. N.A.Koltovaya, A.B.Devin. Yeast, **11**, (1995), 72.
5. N.A.Koltovaya, K.Y.Kadyshevskaya, A.B.Devin, Yeast, **11**, (1995), 75.

6. К.Ш.Восканян, Г.М.Арзуманян. *Радиозащитное действие лазерного излучения с длиной волны 532нм*, Радиационная биология, радиозэкология **36**, (1996), 731-734.
7. К.Ш. Восканян, Г.М. Арзуманян. *О радиозащитном действии видимого света*, Труды международного симпозиума "Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии", Москва, Дубна, 1997.
8. K.Sh.Voskanyan and G.M.Arzumanyan. *532 nm Light Radioprotective Action*, Inyernational Conference on Lasers'94, Quebec, Canada, 1994.
9. K.Sh.Voskanyan and G.M.Arzumanyan. *Some General Regularities of Ionizing and 633 nm Laser Radiation Action on Bacteria*, 7-th Congress of the European Society for Photobiology, Stresa, Italy, 1997.

**АРЗУМАНЯН ГРИГОРИЙ МАКИЧЕВИЧ**, родился в 1953 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1975г., аспирантура МИФИ (1979-1982), кандидат физ. мат. наук (1983 г. ЛЯР ОИЯИ, диссертация "Лазерно-плазменный источник для высокочувствительного масс-спектрального анализа тяжелых атомов"), до 1994 года заведующий лабораторией НПО "Лазерная техника" ЕГУ, с 1995г. - зам. начальника отдела радиобиологии ОРРИ ОИЯИ, с 1996г. ученый секретарь Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред ОИЯИ. С декабря 1997 начальник научно-организационного отдела ОИЯИ.

E-mail: arzuman@cv.jinr.dubna.su

**ВОСКАНЯН КАРИНЭ ШАВАРШОВНА**, родилась в 1954 году, окончила физический факультет ЕГУ в 1977г., кандидат биол. наук (1987г. ЕГУ, диссертация "Модификация радиационного поражения клеток бактерий излучением гелий - неоновом лазера"), до 1994г. работала в.н.с. НПО "Лазерная техника" ЕГУ, с 1994г. по н.в. - с.н.с. ОРРИ ОИЯИ.

Телефон: 63766; E-mail: voskan@cv.jinr.dubna.su

# ПОИСК ЭКЗОТИЧЕСКИХ СТРАННЫХ СТАБИЛЬНЫХ И МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ДИБАРИОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

П.Ж.Асланян, Б.А.Шахбазян, А.А.Кузнецов,  
А.Г.Худавердян, Ю.А.Троян, Т.А.Волоховская,  
В.Н.Емеляненко, А.С.Мартынов

Исследования направлены для решения одной из центральных задач теории сильных взаимодействий. При больших межкварковых расстояниях, в силу конфаймента кварков, т.е. большой константы сильных взаимодействий, пертурбативные методы КХД исключаются. Поэтому для низкоэнергетической физики адронов необходимо использовать непертурбативные модели и подходы. К таковым относятся правила сумм КХД, модели Скирма, метод эффективных Лагранжианов, модели мешков, релятивистские и нерелятивистские модели кварков и др. Для создания непертурбативной КХД необходима широкая база в виде экспериментально проверенных теоретических предсказаний и еще большей степени новых, неизвестных ранее экспериментальных фактов. Результаты наших исследований могут оказаться существенными не только для создания теории сильных взаимодействий на больших расстояниях, но важны также и для решения фундаментальных проблем астрофизики и космологии. В частности, во-первых, согласно О.Бенвенуто, предсказанная Ф.С.Мишелем кварковая  $\alpha$ -частица - связанное состояние трех  $N$ -дигиперонов, является идеальной структурной единицей для построения модели скрытого вещества во Вселенной, и во-вторых, привлечение этой концепции позволяет объяснить как феноменологию взрыва сверхновых звезд типа II, так и феноменологию пульсаров.

Примечательно, что непертурбативные модели предсказывают существование экзотических мультикварковых адронов состоящих из 6, 9-и кварков. Наиболее экзотичными из них являются дибарионы со странностью  $S = -2, -3$  стабильные к сильным распадам.

$N$ -дигиперон шестикварковое состояние с вакуумными квантовыми числами  $J=0$ , обогащенное странностью  $-2$ . Фактически это система из трех скалярных дикварков, в каждом из которых за счет инстантонного взаимодействия возникает сильное притяжение (правило Хунда). Непертурбативное взаимодействие между кварками через инстантоны дает сильное притяжение в симметричном по цвет-спину представлению и полностью отсутствует для антисимметричных состояний. Пер-

вые эксперименты по поиску  $H$ -дигиперона, выполненные вскоре после пионерских работ R.I.Jaffe (1977), не решили вопроса о существовании  $H$ -дигиперона, была получена лишь верхняя граница его рождения.

Первые убедительные экспериментальные результаты были получены в Дубне в группе под руководством ныне покойного Б.А.Шахбазяна. Регистрация даже самых простых из стабильных мультикварковых состояний ( $S=-2$ ) является весьма сложной экспериментальной проблемой. Для ее осуществления необходимо создать технику регистрации и методику идентификации адекватную физической проблеме, что является важнейшей из задач для постановки успешного эксперимента. Измерение и анализ экспериментального материала на 2м-пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ убеждает, что используемая техника вполне подходит к изучаемой физической проблеме. Тщательный анализ достоинств и недостатков существующих методик а привел к выводу о том, что на нынешней разведывательной стадии поиска наиболее адекватна этой задаче методика пропановой пузырьковой камеры. И этот вывод оправдывается. На фотографиях 2м пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной протонами с импульсом 10 ГэВ/с, впервые наблюдаются восемь стабильных дибарионов со странностью  $S=-2$ .

Детектирование как легких, так и тяжелых стабильных дибарионов возможно по их слабым распадам и, как впервые предложено, по каналам сильных взаимодействий-внутриядерной конверсии стабильных дибарионов в гипероны.

Обнаружено основное состояние  $H^0$  легкого стабильного, дважды странного дибариона с массой  $M_{H^0} = (2146.3 \pm 1.0) M_{\text{эВ}}/c^2$  и возбужденное состояние  $H_2^0$  с массой  $M_{H_2^0} = (2203.0 \pm 5.9) M_{\text{эВ}}/c^2$ . Детектирован электромагнитный переход  $H_2^0 \rightarrow H^0 + \gamma$ . Тяжелый стабильный дибарион с  $S=-2$  обнаружен в двух зарядовых состояниях, нейтральном  $H$  с массой  $M_H = (2396.9 \pm 17.0) M_{\text{эВ}}/c^2$  и в положительно заряженном  $H^+$  с массой  $M_{H^+} = (2392.6 \pm 23.6) M_{\text{эВ}}/c^2$ . Средняя продолжительность жизни стабильных дибарионов по отношению к слабым распадам оценивается в  $3.3 \times 10^{-10}$  сек. Сечение рождения их в  $p^{12}C$  взаимодействиях при 10 ГэВ/с составляет менее 60 нб.

В дальнейшем предполагается:

1. Продолжить обработку имеющихся фотографий для идентификации странных  $V$  частиц и наращивать статистику событий с 12000 до 25000.
2. Продолжить поиск странных  $S = -2$  стабильных дигиперонов  $H$ , что позволит увеличить их число до 3-5 десятков, детектированных по всем

модам слабых распадов и внутриядерной конверсии. Это позволит исследовать механизм их образования, измерить время жизни  $N$  по отношению к слабым распадам. Определить сечение рождения  $N$  в столкновениях  $pC$  при импульсе пучка 10 ГэВ/с.

3. Продолжить поиск странных метастабильных дибарионных резонансов при больших массах и большой статистике.

4. Разработать новые методы поиска и идентификации событий, чтобы увеличить отношения эффект/фон и эффективность работы программного обеспечения.

## Литература

1. B.A.Shahbazian et al., JINR Rapid Communications, 1[69]-95,61.
2. B.A.Shahbazian et al., Proc. Int. Conference HADRON'95.
3. B.A.Shahbazian et al., Z. Phys. **C39**, (1988), 151.
4. B.A.Shahbazian et al., Phys. Lett. **B235**, (1990), 208.
5. B.A.Shahbazian et al., Phys. Lett. **B316**, (1993), 593.
6. B.A.Shahbazian et al., Nuovo Cimento, **107A.N11**, (1994), 2459.
7. P.Z.Aslyan, B.A. Shahbazian et al., Proc. Int. Workshop WIN'97.
8. P.Z.Aslyan, B.A. Shahbazian et al., Proc. Int. Conference Advances in Nuclear Physics and Related Areas, Thessaloniki Greece, 1997.
9. П.Ж.Асланян. ЯФ , (в печати), 1997.
10. П.Ж.Асланян. препринт ОИЯИ, P1-96-150, 1996, Дубна.
11. П.Ж.Асланян и др., препринт ОИЯИ, D1-96-418, 1996, Дубна.

**АСЛАНЯН ПЕТРОС ЖОРАЕВИЧ**, родился в 1956г., окончил физический факультет ЕГУ в 1979г., кандидат физ. мат. наук (1989г., ЛВЭ ОИЯИ, диссертация "Исследование дифференциального сечения реакций  $\pi - p \mapsto \eta \Delta^0(1232), \eta \mapsto \gamma\gamma$ "), до 1992г. с.н.с. кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц ЕГУ, с 1992г. с.н.с. ЛВЭ ОИЯИ, в настоящее время руководитель группы.

Телефон: 62018; E-mail: aslanyan@sunhe.jinr.dubna.su

# НЕРАДИАЛЬНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ И МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ

С.И.Баструков, В.В.Папоян

Теоретический анализ обширной экспериментальной информации, накопленной в ядерной физике за прошедшие два десятилетия позволяет заключить, что атомное ядро, моделируемое как ядерная сплошная среда, проявляет свойства, присущие крайне жесткому упругому материальному континууму, управляемому уравнениями эластодинамики. Поскольку нейтронная звезда является объектом с крупномасштабным распределением ядерной материи, в работе [1] было предложено провести исследование сейсмологии нейтронной звезды (основная задача которой состоит в вычислении нормальных мод собственных гравитационных колебаний) на основе уравнений ядерной эластодинамики. В качестве первого шага в этом направлении были вычислены частоты сфероидальных гравитационно-упругих нерадиальных колебаний нейтронной звезды в модели самогравитирующей массы однородного нейтронного вещества и найдено, что с этими колебаниями можно связать вариации интенсивности микроимпульсов радиоизлучения, наблюдаемые в миллисекундном диапазоне спектра пульсара. В работе [2] изучалась неоднородная модель собственных гравитационных колебаний нейтронной звезды и показано, что неоднородность распределения массы в радиальном направлении приводит к дипольной нерадиальной моде в отличие от однородной модели, низшая гравитационная мода которой имеет квадрупольный порядок.

В работах [3,4] развита теория собственных магнитогиродинамических колебаний нейтронной звезды. Эта теория является конструктивным развитием гипотезы Хойла-Нарликара-Уиллера о том, что для невращающейся нейтронной звезды гидромагнитные осцилляции могут оказаться единственным источником ее электромагнитной активности, доступной для наблюдений. Оценки частот нерадиальных полоидальных и тороидальных гидромагнитных колебаний, возникающие в периферийной корке (области локализации Ае-фазы) звезды вполне согласуются с основными частотами радиоизлучения пульсаров. Таким образом, наши результаты подтверждают упомянутую гипотезу о том, что источником радиоизлучения нейтронной звезды может быть не только

ее твердотельное вращением, но также и альвеновские магнитоплазменные колебания, возбуждаемые при вспышке сверхновой. Окончательным подтверждением развитой теории явилось бы наблюдение сверхбыстрых пульсаров излучающих с частотами превышающими критическую частоту вращения.

## Литература

1. S. Bastrukov, I. Molodtsova, V. Papoyan and F. Weber. *Nonradial Vibration of Neutron Stars*. J.Phys. **G22**, (1996), L33.
2. Д.В. Подгайный, С.И. Баструков, И.В. Молодцова, В.В. Папоян. *Нерадиальные колебания нейтронной звезды в неоднородной гидродинамической модели*. Астрофизика **39**, (1996), 475.
3. С.И. Баструков, В.В. Папоян, Д.В. Подгайный. *Альвеновские колебания электронно - ядерной плазмы в периферийной коре нейтронной звезды*. Письма в ЖЭТФ, **64**, (1996), 593.
4. С.И. Баструков, И.В. Молодцова, В.В. Папоян, Д.В. Подгайный. *О собственных МГД колебаниях нейтронной звезды* Астрофизика **40**, (1997), 77.

**ПАПОЯН ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ**, родился в 1937 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1960 году, аспирантура ЕГУ с 1964 по 1966 годы, кандидат физ. мат. наук (1969 год, ЕГУ, диссертация "Некоторые вопросы теории сверхплотных вращающихся конфигураций"), доктор физ. мат. наук (1990 год, ЕГУ, диссертация "Проблемы теории статических и стационарных гравитационных полей"), профессор кафедры теоретической физики ЕГУ, с 1993 года по н/в по краткосрочным контрактам (4-5 месяцев в году) в.н.с. ЛТФ ОИЯИ. Член ученого совета ОИЯИ.  
E-mail: vrap@thsun1.jinr.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Ю.А.Будагов, В.Н.Шигаев, А.Р.Аствацатуров, А.Э.Лазиев,  
И.А.Суслов, С.В.Клименко, Е.А.Слободюк, В.Д.Самойленко,  
В.Ф.Уразметов, С.В.Нелюбов

Искусственные нейронные сети представляют собой относительно новую, бурно развивающуюся технологию вычислений, основанную на создании математических структур, способных к обучению. Области применения искусственных Нейронных Сетей (НС) широки и разнообразны. От сфер бизнеса (исследование и прогнозирование рынка) до участия в решении проблем фундаментальных исследований. Использование нейронных сетей в задачах науки и техники сулит большие возможности там, где требуется обработка, интерпретация и принятие решений на основе огромных потоков входной информации.

Условия проведения будущих экспериментов на строящемся в CERN крупнейшем протонном коллайдере LHC бросают технический и технологический вызов разработчикам систем управления экспериментом, систем оперативного распознавания событий в реальном масштабе времени (интеллектуальных триггеров) и систем накопления данных. Сложность задач и жесткость условий в которых они должны быть решены, определяется следующими моментами, характерными для физических исследований на коллайдерах:

- высокая частота ядерных взаимодействий ( $\approx 10^8$  событий в секунду);
- большое число каналов регистрации информации ( $\approx 10^8$  каналов);
- широкий динамический диапазон значений регистрируемых сигналов ( $\approx 10^4$ );
- гигантские потоки информации в системах регистрации событий и их оперативного анализа;
- многократное (на много порядков) превышение числа фоновых событий по отношению к сигнальным событиям, представляющих собой объект исследований;



- присутствие коррелированного шума в зарегистрированных событиях, в особенности при высокой светимости (интенсивности пучков ускоренных протонов), когда аппаратура детекторов реально регистрирует не отдельное событие, а суперпозицию до нескольких десятков событий, среди которых может находиться и сигнальное событие (эффект pile-up).

Разработка технических проектов крупных экспериментальных установок, предназначенных для работы на коллайдерах, опирается на апробированные технологии, методы и средства анализа данных как на исходную базу. Вместе с тем, ведутся широкие поисковые исследования в области новых технологий и методов, адекватных возросшей сложности задач экспериментальной физики. В частности, применение искусственных нейронных сетей в области экспериментальной физики становится предметом возрастающего числа исследований и сообщений на крупных международных конференциях (CHEP, AINENP и др.).

С учетом высоких темпов развития современной элементной базы для реализации искусственных НС, направление исследований, развиваемых в рамках наших работ, представляется весьма актуальным и своевременным.

Имеется в виду, что нами будет решен ряд важных задач экспериментальной физики в рамках программ создания и развития крупных физических установок ATLAS и CDF для проведения исследований на строящемся большом коллайдере LHC (CERN, Швейцария) и коллайдере Национальной ускорительной лаборатории Ферми (FNAL, Батавия, США).

Решаемые задачи можно подразделить на три группы:

- А. Общие задачи в области калориметрии на установке ATLAS;
- Б. Специфические задачи программ исследований в области В-физики на установках ATLAS и CDF;
- Задачи, связанные с программой исследований на установке ATLAS, нацеленные на обнаружение Хиггс-бозона.

В достижении эффективных решений большинства задач из перечисленных, определяющую роль будут играть новые подходы и алгоритмы для анализа калориметрических данных.

Калориметр (электромагнитный + адронный) установки ATLAS это - уникальный детектор весом 4000 тонн, состоящий из нескольких разнотипных модулей с регулярной внутренней структурой и трехмерной сегментацией рабочего объема, позволяющий получать информацию об энерговыделении в каждой рабочей ячейке в пространстве детектора (общее число каналов считывания -  $> 2 \cdot 10^5$ ) Всю совокупность значений энерговыделения в ячейках калориметра при регистрации события можно рассматривать как многомерный вектор измерений - образ события-, называемый также откликом калориметра.

В Группе А центральной является задача разработки новых вычислительных алгоритмов и процедур повышенной точности для восстановления энергии физического процесса по его отклику в калориметре.

Точность восстановления - энергетическое разрешение калориметра - это фундаментальная характеристика калориметра и ее улучшение имеет первостепенное значение для физических экспериментов на установке ATLAS. Задача нахождения оптимальной, согласно выбранным критериям, процедуры восстановления энергии относится к классу, так называемых, задач калибровки калориметров. Хотя выбираемые критерии оптимальности достаточно общие - минимальность статистической погрешности и несмещенность оценки в границах рабочего диапазона энергий -, подходы к разработке алгоритмов и программных реализаций должны в полной мере учитывать особенности данной уникальной установки, такие как:

- некомпенсированность калориметра (при равных энергиях элементарных частиц отклик зависит от природы частиц);
- пространственная неизотропность характеристик калориметра;
- неполная герметичность калориметра;
- нелинейность отклика калориметра в границах рабочего диапазона энергий.

Фактически группа А включает в себя серию задач типа калибровки, необходимость решения которых возникает в процессе выполнения коллаборации ATLAS по созданию модулей калориметра и их испытаний на реальных пучках различных энергий на действующем ускорителе ЦЕРН-а.

В группу Б включена задача исследования возможности существенного повышения темпа набора статистики событий, связанных с изучением ряда мод распада В-мезона. Планируется искать решение этой задачи на путях повышения эффективности идентификации (мечения) В-событий, содержащих мюон с малым поперечным импульсом, при этом для установок ATLAS и CDF исследуемые подходы будут разными.

Для установки ATLAS необходимо разработать нейросетевые классификаторы с хорошими оперативными характеристиками распознавания струй элементарных частиц, содержащих мюон с малым поперечным импульсом, по отклику адронного калориметра (при малых значениях импульса мюон с заметной вероятностью поглощается материалом калориметра и детектором, расположенным за внешним контуром калориметра ATLAS).

Для установки CDF необходимо разработать быстрый триггер на базе нейросетевых классификаторов, анализирующих данные с трекового детектора, для обнаружения в составе событий таких треков, параметры которых соответствуют импульсу мюона в границах 1 - 5 ГэВ/с.

Факторы сложности задачи:

- малое время на анализ одного события (132 нсек между соседними по времени событиями);
- высокая множественность треков в одном событии;
- короткая измерительная база для оценки кривизны трека;
- ограничение сверху на общее число каналов регистрации.

Группа В предусматривает разработку нейросетевых классификаторов для решения двух задач :

- идентификация струй, генетически связанных с тау-лептонами;
- сепарация гамма/пи-ноль по отклику калориметра ATLAS .

В основу методов исследований положены глобальные свойства НС - обучаемость на основе опыта (тренировка сети) и возможность моделирования архитектуры сети на аппаратных средствах традиционной вычислительной техники (в том числе на персональных компьютерах ПК).

Обучающие выборки физических процессов также моделируются программными средствами (метод Монте-Карло). Широкомасштабные исследования НС для столь сложных задач, как ФВЭ, проводятся впервые. Программа работ включает в себя:

- анализ теории и мирового опыта использования НС в науке и технике;
- создание математического программного обеспечения моделирования НС различной архитектуры и топологии, а также моделирования физических процессов для тренировки сети;
- исследование функциональных возможностей НС в задачах ФВЭ;
- создание аппаратной и программной базы НС на основе модельных исследований.

В результате выполнения данной работы будут сформулированы рекомендации по оптимальным алгоритмическим, архитектурным и схемотехническим решениям для промышленной разработки НС широкого применения.

**ЛАЗИЕВ АРМЕН ЭДУАРДОВИЧ**, родился в 1970 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1991г., аспирантура ЕГУ (1991-1994), с 1995г. – м.н.с. ЛЯП ОИЯИ.

E-mail: laziev@nu.jinr.ru

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КВАНТОВАНИЯ

А.В.Карабегов

Квантование систем с конечным числом степеней свободы оказало огромное воздействие на облик современной математики и послужило основой для создания таких ее фундаментальных областей как теория псевдодифференциальных операторов, интегральных операторов Фурье и теория представлений групп Ли.

За последние десять - пятнадцать лет в математике возникли целые новые "квантовые" области, такие как теория квантовых групп и некоммутативная дифференциальная геометрия.. На этом фоне возрос интерес к математическим работам собственно по теории квантования, и в особенности деформационного квантования, что связано с появлением ставших уже классическими работ Б.В. Федосова. Различные аспекты теории квантования в математике отражены в названиях соответствующих направлений: геометрическое квантование (Кириллов, Костант, Сурьо), символьное квантование (Березин), асимптотическое квантование (Маслов, Карасев), деформационное квантование (Флато, Фронсдаль, Лихнерович и др.). Математический аппарат и техника, используемые в них, различны. В данной работе мы рассмотрим геометрическое, символьное и деформационное квантования.

Квантование сопоставляет фазовому пространству классической гамильтоновой механики - симплектическому многообразию  $M$  с заданной на нем симплектической формой  $\omega$  - фазовое пространство квантовой механики, - гильбертово пространство  $H$  (точнее, соответствующее проективное пространство  $PH$ ). Классическим гамильтонианам - функциям на  $M$  - отвечают операторы в  $H$ . Соответствие квантовой и классической механики связывается с рассмотрением семейства квантовых механик, параметризованных малым вещественным параметром  $\hbar$  - постоянной Планка. При  $\hbar \rightarrow 0$  квантовая механика в каком-то смысле переходит в классическую. Принцип соответствия допускает строгую математическую формулировку. Если функции  $f$  (символу) на  $M$  отвечает оператор  $Op_{\hbar}(f)$  в гильбертовом пространстве  $H_{\hbar}$ , то операторное умножение индуцирует некоммутативное умножение  $*_{\hbar}$  в функциях на  $M$ . При этом для функций  $f, g$  на  $M$  должны выполняться пределы  $\lim_{\hbar \rightarrow 0} f *_{\hbar} g = fg$  и  $\lim_{\hbar \rightarrow 0} \hbar^{-1}(f *_{\hbar} g - g *_{\hbar} f) = i\{f, g\}$ , где  $\{\cdot, \cdot\}$  - скобка Пуассона на  $M$ , отвечающая  $\omega$ .

В геометрическом квантовании по многообразию  $M$  строится геометрическая реализация пространства  $H$  в сечениях (или в когомологиях с коэффициентами в пучке ростков сечений) некоторого линейного расслоения над  $M$ .

В символьном квантовании аналитическими методами изучаются алгебры символов  $(\mathcal{A}_{\hbar}, *_{\hbar})$  на  $M$ , для которых отображение символ—оператор  $f \mapsto Op_{\hbar}(f)$  является представлением  $\mathcal{A}_{\hbar}$  в  $H_{\hbar}$ , и доказывается выполнение принципа соответствия.

В деформационном квантовании формальными геометрическими и алгебраическими методами описываются всевозможные ассоциативные умножения  $\star$  в пространстве  $\mathcal{F}$  формальных степенных рядов от параметра  $\nu$ ,  $\mathcal{F} = C^{\infty}(M) [[\nu]]$ , такие что  $f \star g \equiv fg \pmod{\nu\mathcal{F}}$  и  $f \star g - g \star f \equiv i\nu\{f, g\} \pmod{\nu^2\mathcal{F}}$ .

Такое формальное умножение  $\star$  могло бы возникнуть из полного асимптотического разложения некоторого символьного умножения  $*_{\hbar}$  по  $\hbar \rightarrow 0$ , как это и происходит в простейших известных примерах, послуживших основанием для концепции деформационного квантования. Однако до последнего времени деформационное квантование оставалось "вещью в себе" и изучалось как самостоятельная богатая и содержательная теория. Дело в том, что известно не так уж много примеров алгебр символов, для которых удалось доказать принцип соответствия. И даже в этих случаях (за исключением самых простых и известных алгебр виковских, антивиковских,  $pq$ -,  $qp$ - и вейлевских символов) у деформационного квантования, возникающего из асимптотического разложения символьного умножения, не было достаточно общего автономного описания.

Сейчас наметилась тенденция к объединению геометрического, символьного и деформационного квантований на пути геометризации всех конструкций, связанных с квантованием. В работе [1] М. Казн, С. Гютт и Дж. Ронсли изучили с таких позиций квантование на кэлеровых многообразиях. Они дали геометрически инвариантное определение когерентных состояний, в терминах которых определяются ковариантные символы Березина, а затем описали асимптотическое разложение произведения символов по  $\hbar \rightarrow 0$ , приводящее к деформационному квантованию на компактном кэлеровом симметрическом пространстве  $M$ . Из работ Ф.А. Березина [2] и К. Морено [3] известно, что такое деформационное квантование допускает автономное описание в терминах инвариантных дифференциальных операторов на  $M$  (т.е. это описание свя-

зано с наличием группы автоморфизмов симметрического пространства и тем самым не может быть перенесено на общие кэлеровы многообразия). В работах [4,5], мы показали, что такое деформационное квантование удовлетворяет простому условию "разделения переменных" и дали явное описание всех возможных деформационных квантований с разделением переменных на произвольном (псевдо)кэлеровом многообразии в терминах формальной деформации исходной (псевдо)кэлеровой метрики, то есть чисто геометрически. Из этого результата следует естественное предположение, что квантование ковариантными символами Березина на произвольном кэлеровом многообразии должно привести к деформационному квантованию с разделением переменных. В случае, если это так, возникает задача идентификации этого деформационного квантования с одним из явно описанных нами квантований с разделением переменных. На сегодняшний день техника, необходимая для доказательства этого предположения, пока не разработана.

В работе [6], в едином геометрическом ключе, нами описано геометрическое, символьное и деформационное квантование (с разделением переменных) на обобщенном многообразии флагов (коприсоединенной орбите компактной полупростой группы Ли), наделенном инвариантной псевдокэлеровой метрикой. В случае, когда эта метрика положительно определена, мы приходим к квантованию ковариантными символами Березина, а в случае, когда она отрицательно определена, - к квантованию контравариантными символами.

В работе [7] на произвольном компактном кэлеровом многообразии методом квантования Березина-Теплица, основанном на использовании контравариантных символов, было построено некоторое деформационное квантование. Как и выше, можно предположить, что это квантование с разделением переменных, и поставить соответствующую задачу идентификации.

Таким образом, полученные нами результаты тесно связаны с другими проводимыми сейчас исследованиями в области квантования. Эти результаты позволяют ставить задачи, стимулирующие дальнейшие исследования.

## Литература

1. M.Cahem, S.Gutt, J. Rawnsley. *Quantization of Kähler manifolds II*. Trans. Amer. Math. Soc., **337**, 73-98 (1993)

2. Ф.А.Березин. Связь между ко- и контравариантными символами операторов... ДАН СССР, **241**, No. 1, 15-17 (1978)
3. С.Moreno. *Invariant star products and representations of compact semisimple Lie groups*. Lett. Math. Phys., **12**, 217-229 (1986)
4. А.В.Карабегов. О деформационном квантовании на кэлеровом многообразии, связанном с квантованием Березина. Функц. анализ и прил., **30**, No. 2, 87-89 (1996)
5. А.В.Карабегов. *Deformation quantizations with separation of variables*. Comm. Math. Phys., **180**, 745-755 (1996)
6. А.В.Карабегов. *Pseudo-Kähler quantization on flag manifolds*. препринт
7. М.Schlichenmaier. *Deformation quantization on compact Kähler manifolds via Berezin-Toeplitz operators*. препринт.

**КАРАБЕГОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**, родился в 1958 году, окончил мех-мат МГУ в 1981г., аспирантура МГУ (1982 - 1984гг.), кандидат физ-мат наук (1988 г., МГУ, диссертация "Символы на однополостном гиперboloиде"), до 1993г. работал в Межвузовском научном центре по прикладным проблемам математики при ЕГУ, с 1993г. с.н.с. ЛВТА ОИЯИ.

E-mail: karabegov@vxjinr.jinr.ru



# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ЦВЕТА И ПРОЗРАЧНОСТИ КРИСТАЛЛОВ

И.В.Луценко, В.А.Сарин

Известно, что под действием нейтронного облучения кристаллы меняют цвет и прозрачность. Возникает вопрос: можно ли это изменение сделать управляемым, т.е. можно ли действуя на образец придать ему заведомо необходимые признаки? Подчеркнем, что именно цвет и прозрачность являются признаками, определяющими технологическую и коммерческую ценность кристалла.

Считается, что при обычных условиях (т.е. не очень высоких температурах), прозрачность и цвет зависят лишь от общего количества примесей в кристаллах. Вместе с тем экспериментально установлено, что общее количество примесей в кристалле не меняется под действием облучения. Почему же при этом меняются прозрачность и цвет? Выход из этого логического тупика прост: вопреки сказанному выше, прозрачность и цвет зависят не только от общего количества примесей, но и от относительных корреляций между ними. В случае, когда облучение не меняет этих корреляций, например из-за недостаточной интенсивности пучка, окраска и прозрачность кристалла опять-таки определяется количеством содержащихся в нем примесей.

Мы приходим к выводу: кристалл есть многокомпонентная статистическая система, в которой под действием нейтронного облучения меняются относительные корреляции между примесями, и, как следствие, меняются прозрачность и цвет. Это делает актуальным изучение влияния нейтронного пучка на относительные корреляции примесей в кристаллах.

Установка РЕГАТА на реакторе ИБР-2 позволяет методами нейтронно-активационного анализа определить концентрации примесей в кристаллах и проследить изменения их цвета и прозрачности.

Общий объем работы включает следующие этапы:

- (а) обработка данных нейтронно-активационного анализа и построение матрицы относительных корреляций;
  
- (б) создание картотеки корреляционных шаблонов и разработка правил соответствия, позволяющих по этим шаблонам предсказывать прозрачность и цвет кристаллов;

(в) разработка методов предсказания результата эволюции корреляционной картины по данным об исходных корреляциях.

Применение описанного метода к кристаллам топаза привело к следующим результатам:

(1) обнаружено, что в группе из более чем двадцати примесей лидирующей является примесь элемента скандия (Sc);

(2) открыта неизвестная ранее геохимическая закономерность, выражающаяся в максимальной относительной корреляции элемента цезия (Cs) от элемента скандия (Sc).

Материал по исследованию топазов находится в стадии подготовки к публикации.

Методы обработки информации, которыми мы пользуемся [1-3], с равным успехом применимы также к данным нейтронно-активационного анализа проб воды, воздуха, биологических объектов, образцов горных пород и минералов.

## Литература

1. В.И.Луценко, И.В.Луценко, В.М.Тер-Антонян. Доклады А.Н. Арм. ССР, **76**, 213, 1982.
2. В.И.Луценко, И.В.Луценко, В.М.Тер-Антонян. Доклады А.Н. Арм. ССР, **79**, 133, 1983.
3. И.В.Луценко, А.Н.Сисакян, В.М.Тер-Антонян. препринт ОИЯИ, Р2-92-504, Дубна, 1992.

**ЛУЦЕНКО ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ** (1951-1997), окончил физический факультет ЕГУ в 1973г., кандидат физ.-мат. наук (1990г., ЛТФ ОИЯИ, диссертация "Неоднородность классических и квантовых смесей и аномалия кулоновского вырождения в одномерии"), с 1978г. по 1991г. – н.с. кафедры ядерной физики ЕГУ, с 1991г. по 1995г. – н.с. кафедры теоретической физики ЕГУ, с 1995г. по 1997г. – с.н.с ЛНФ ОИЯИ.

# ПРОБЛЕМА ГЕНЕРАЦИИ ДИОНОВ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

Л.Г.Мардоян, А.Н.Сисакян, В.М.Тер-Антонян

Проблема генерации дионов является важной частью более общей проблемы поиска виттеновской дуальности в формализме квантовой механики. Согласно виттеновской дуальности, калибровочные теории с сильной связью асимптотически эквивалентны теориям, в которых с одной стороны действует слабая связь, с другой – присутствуют топологически нетривиальные объекты в виде монополей и дионов (N.Seiberg, E.Witten, Nucl. Phys., **V431**, 484, 1994). Виттеновская дуальность открывает путь к проведению надежных вычислений в теориях с сильной связью, т.е. к решению одной из важнейших задач теоретической физики.

В предложенном нами механизме генерации дионов исходной моделью с сильной связью служит изотропный осциллятор. Структура механизма такова, что он остается в силе и после добавления к осцилляторному потенциалу произвольной функции, не нарушающей конфайнмента. Другими словами речь идет о достаточно универсальном механизме.

Отправной точкой исследований по проблеме генерации дионов послужили работы, примыкающие к теории небиективных билинейных преобразований, связанных с алгеброй Клиффорда и удовлетворяющих важному с физической точки зрения условию Эйлера (L.S.Davtyan, L.G.Mardoyan, G.S. Pogosyan, A.N.Sissakian, V.M.Ter-Antonyan, J.Phys., **A20**, 6121, 1987; D.Lambert, M.Kibler, J.Phys., **A21**, 307, 1988; Le Van Hoang, Tony J Vilorio, Leahn Thu, J.Phys., **A24**, 3021, 1991). Однако лишь в 1994 г. нами была осознана связь этой проблемы с более фундаментальной проблемой поиска виттеновской дуальности в формализме квантовой механики. Такой взгляд активизировал наш интерес к проблеме, что в конечном счете привело к публикациям составившим основы настоящего сообщения. Некоторые из изложенных ниже результатов были получены совместно с А.П.Нерсесяном, выступившим в этом сборнике со статьей по антискобкам.

I. Математическую основу подхода составил цикл работ [1-4], относящихся к преобразованию Гурвица. В этих работах: (а) была установлена алгебраическая структура указанного преобразования [1]; (б)

выявлены наиболее эффективные с точки зрения квантовой теории углового момента механизмы редукции векторов состояний [2,3]; (в) развита теория, выходящая за рамки требования билинейности и позволяющая использовать мощную технику гиперсферических гармоник в решении конкретных задач [4];

II. По ходу дела мы столкнулись с задачами относящимися к спектральной теории линейных операторов и к теории межбазисных преобразований. Эти задачи были решены в работах [5-7].

III. Уникальность преобразования Гурвица состоит в том что оно переводит проблему осциллятора в проблему Кулона-Кеплера. Такой переход возможен, однако, лишь для осцилляторных пространств с размерностями 2,4, 8. Этот странный, с первого взгляда, факт связан с существованием трех фундаментальных структур: комплексных чисел, кватернионов и октанионов. Преобразование Гурвица переводит эти размерности в размерности 2, 3, 5, покрывающие весьма широкий спектр проблем теоретической физики. В самом деле, в пространствах с размерностью  $1+2$  в настоящее время успешно развивается квантовая теория гравитации и теория анионов. Очень существенно, что в эту тройку попадает и размерность 3, которая в особых комментариях не нуждается. Наконец, пространства с размерностью 5 являются полигоном для формулировки теории Калуцы-Клейна, внедрения в структуру теорий группы де Ситтера, развития теории монополей Янга и построения более сложных, чем было отмечено выше, моделей квантовой гравитации.

IV. Генерацию электрического заряда обеспечивает преобразование Гурвица, поскольку именно оно переводит осцилляторные модели в кулоновские. При отображениях  $(2,4,8) \rightarrow (2,3,5)$  теряются некоторые степени свободы. Мы придаем фундаментальную роль этим степеням свободы, используя их для построения калибровочных пространств над конфигурационными пространствами  $(2,3,5)$ . Генерация магнитного заряда производится преобразованием, связывающим осцилляторные пространства с калибровочными. В результате этих математических преобразований рождается связанная система заряд-дион [8-11].

V. Нами был также предложен механизм генерации дионов, подчиняющихся дробной статистике [12]. Соответствующая модель представляет собой трехмерный изотропный осциллятор, определенный на вложенном в трехмерное пространство двумерном полуконусе с выколотой вершиной и с углом раствора  $30^\circ$ . Выколотость вершины гарантирует

анионный характер модели, а выбор угла раствора объясняется тем, что только при  $30^0$  система заряд-дион оказывается определенной на евклидовой плоскости. В этой модели электрический и магнитный заряды генерируются преобразованием т'Хофта.

VI. Переход от осцилляторных моделей к системам заряд-дион несет в себе концептуально важный элемент дуальности, состоящий в том, что энергия и константа связи осциллятора трансформируется в константу связи и в энергию системы заряд-дион. Таким образом, осциллятор не тождественен, а дуален системе заряд-дион. Указанный факт есть основополагающее свойство оператора Шредингера, объясняющее связь проблемы генерации дионов с виттеновской дуальностью.

Наиболее значимыми, на наш взгляд, являются следующие результаты:

1. Доказано, что преобразование  $(8) \rightarrow (5)$  расщепляется на конформное преобразование  $(2) \rightarrow (2)$  и группу  $SU(2)$  преобразований, действующих в пространстве параметров Кэли-Клейна [11].

2. Предложена параметризация, в которой преобразование  $(8) \rightarrow (5)$  тождественна правилу сложения эйлеровых поворотов, а механизм редукции векторов состояний дается теоремой сложения для D-функций Вигнера [2].

3. Развита небилинейная версия [3] преобразования Гурвица позволяющая переводить гиперсферические деревья Виленкина - Кузнецова - Смородинского из восьмимерного евклидового пространства в пятимерное.

4. На базе преобразования Гурвица развит эйлеров механизм редукции, тождественный разложению Клебша-Гордана из теории квантового углового момента [4].

5. Решена восьмимерная осцилляторная и пятимерная кулоновская спектральная проблема методом факторизации оператора Шредингера в эйлеровых координатах [5,6].

6. Вычислена матрица Парка-Тартера для системы дион-дион. Показано, что эта матрица тождественна коэффициентам межбазисных разложений в четырехмерном осцилляторе [7].

7. Показано, что в результате преобразования  $(4) \rightarrow (3)$  и  $U(1)$ -редукции а также преобразование  $(2) \rightarrow (2)$  и  $Z_2$ -редукции рождается трехмерная система заряд-дион и двумерная система заряд-вихрь со спином  $1/2$  соответственно. Дан геометрический вывод правила квантования Дирака-Цванцигера-Швингера [8-10].

8. В рамках преобразования (8)  $\rightarrow$  (5) сконструирована неабелева  $SU(2)$  модель, описывающая систему заряд-дион [11]. Нетривиальным компонентом этой модели служит пятимерный монополю Янга.

9. Построена система заряд-дион, подчиняющаяся дробной статистике [12]. В качестве исходной системы взята модель трехмерного осциллятора на двумерном полуконусе с выколотой вершиной и с углом раствора  $30^\circ$ .

Среди нерешенных нами проблем осталась проблема подключения к описанной схеме генерации дионов элемента асимптотичности, являющегося неотъемлемой частью виттеновской дуальности. Не исключено, что для решения этой проблемы нам придется обратиться к пространствам, наделенным нетривиальной геометрией и топологией.

## Литература

1. A.N.Sissakian and V.M.Ter-Antonyan. *The Structure of the Hurwitz Transformation*. In Proceedings of the International Workshop "Finite Dimensional Integrable Systems", 191-196, Dubna, 1995.
2. L.G.Mardoyan, A.N.Sissakian, V.M.Ter-Antonyan. *The Eulerian Parametrization of the Hurwitz Transformation*. In Proceedings of the International Workshop "Finite Dimensional Integrable Systems", 137-142, Dubna, 1995.
3. L.Davtyan, A.N.Sissakian, V.M.Ter-Antonyan. *The Hurwitz Transformation: Non-Bilinear Version*. J.Math.Phys., **33**, 1, 1995.
4. А.Н.Сисакян, В.М.Тер-Антонян. *Редукция Эйлера-Гурвица*. Препринт ОИЯИ Р2-94-220, Дубна, 1994.
5. Kh.H.Karayan, L.G.Mardoyan and V.M.Ter-Antonyan. *The Eulerian Bound States: 5D Coulomb Problem*. Preprint JINR, E2-94-359, Dubna, 1994.
6. Kh.H.Karayan, L.G.Mardoyan and V.M.Ter-Antonyan. *The Eulerian Bound States: 8D Quantum Oscillator*. Preprint JINR, E2-94-439, Dubna, 1994.
7. L.G.Mardoyan, A.N.Sissakian, V.M.Ter-Antonyan. *Park-Tarter Matrix for a Dyon-Dyon System*. Int. J. of Mod. Phys. **A**, **12**, 237-242, 1997.

8. A.Nersissian, V.M.Ter-Antonyan. *Charge-Dyon System as the Reduced Oscillator*. Mod. Phys. Lett., **A9**, 2431, 1994.
9. A.Nersissian, V.M.Ter-Antonyan. *Quantum Oscillator as a Bound System of Two Dyons*. Mod. Phys. Lett., **A10**, 2633, 1995.
10. A.Nersissian, V.M.Ter-Antonyan, M.Tsulaya. *A note on quantum Bolin transformations*. Mod. Phys. Lett., **A11**, 1605, 1996.
11. A.Maghakian, A.N.Sissakian, V.M.Ter-Antonyan. *Electromagnetic Duality for Anyons*. Phys.Lett., **A236**, 5-7, 1997.
12. L.G.Mardoyan, A.N.Sissakian, V.M.Ter-Antonyan. *Oscillator as a Hidden Non-Abelian Monopole*. Preprint JINR E2-96-24, Dubna, 1996.

**МАРДОЯН ЛЕВОН ГРИГОРЬЕВИЧ**, родился в 1954 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1978 году, кандидат физ.-мат. наук (1985 год, ВНИЦПВ, диссертация "Сфероидальный и эллиптический анализ некоторых квантовых систем со скрытой симметрией"), до 1994 года с.н.с. кафедры теоретической физики ЕГУ, с 15.11.1994 по 15.05.1995 с.н.с. ЛТФ ОИЯИ, а с 15.05.1995 по настоящее время с.н.с. ЛЯП ОИЯИ.

Телефон: 64535; E-mail: mardoyan@thsun1.jinr.dubna.su

**ТЕР - АНТОНЯН ВАЛЕРИЙ МКРТЫЧЕВИЧ**, родился в 1942 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1967 году, аспирантура МГУ с 1969 по 1972 годы, кандидат физ.-мат. наук (1973 год, ЛТФ ОИЯИ, диссертация "Двухфотонные процессы образования адронов"), доктор физ.-мат. наук (1985 год, ЛТФ ОИЯИ, диссертация "Кулоновские и осцилляторные межбазисные разложения в нерелятивистской квантовой механике"), профессор (1987г.), до 1993 года профессор кафедры теоретической физики ЕГУ, с 1993 г. по настоящее время в.н.с. ЛТФ ОИЯИ.

Телефон: 62106; E-mail: terant@thsun1.jinr.dubna.su

# АНТИСКОБКИ: ГЕОМЕТРИЯ И ФИЗИКА

А.Нерсесян

Как известно, супергеометрия допускает два типа скобок Пуассона, четные и нечетные, в соответствии с их грассмановой градуировкой. В то время, как четные скобки Пуассона являются обобщением обычных и имеют сходные с ними свойства, нечетные скобки Пуассона (антискобки, или скобки Схоутена) являются чисто супергеометрическим объектом и обладают уникальными свойствами. В течение длительного времени антискобки считались объектом, не имеющим физических приложений: гамильтоновы системы, сформулированные с их помощью, не допускали канонического квантования.

В 1981 году, Баталин и Вилковиский предложили совершенно неожиданное их применение, сформулировав с их помощью ковариантный метод лагранжева БРСТ квантования калибровочных теорий (БВ-формализма). В первоначальной формулировке БВ-формализма геометрические свойства антискобок не играли существенной роли, т.к. физические переменные являлись канонически сопряженными вспомогательным (антиполям).

Однако, начиная с 1990 Виттен, Цвайбах и др. начали развивать на основе БВ – формализма струнную теорию поля, а Лиан и Цукерман обнаружили сходные структуры в топологических теориях поля.

Все это породило волну интереса к изучению геометрии антискобок и БВ – формализма, проводившимся различными группами авторов. В этой области автором, совместно с О.Худавердяном был получен ряд приоритетных результатов, позволивших дать геометрическую интерпретацию БВ-формализма, и полностью ковариантизировать его структуру. Так, было показано, что БВ-формализм основан на "первых принципах" теории интегрирования на супермногообразиях, в частности, теореме Стокса, дано инвариантное описание его базовых объектов, были предложены конструкции скобок Пуассона на лагранжевых поверхностях антискобок, и инвариантных плотностей на них [3],[10]. Совместно с П.Дамгаардом (Институт Нильса Бора) автором было предложено параметрическое описание т.н. триплектического формализма (Баталин, Марнелиус, Семихатов 1995), позволившее включить в него известную



ранее схему БРСТ-антиБРСТ инвариантного квантования, и стандартный БВ-формализм [6].

Эта работа продолжается автором в сотрудничестве с К.Берингом (Университет Уппсалы). На сегодняшний день получены основные конструкции, позволяющие напрямую связать триплектический (лагранжев) формализм с гамильтоновым БРСТ формализмом без расширения пространства полей, а также включить в его структуру формулы локализации (см.ниже).

Параллельно, автор, совместно с О.Худавердяном продолжал изучение супермногообразий, оснащенных обоими типами скобок Пуассона, и связанных с ними суперсимметричных механик. В частности, изучались кэлеровы супермногообразия, имеющие одновременно четную скобку Пуассона и антискобку и связанные с ними суперсимметричные механики [12], процедура гамильтоновой редукции на таких супермногообразиях [9]; был предложен общий метод построения таких механик [8]. Работы в этой области были начаты авторами в конце 80-ых в ЕГУ. Исходным пунктом этих исследований послужило наблюдение (Д.В.Волков и др., 1985), что суперсимметричная механика Витгена допускает формулировку на языке антискобок.

В настоящее время, совместно с С.Ляховичем (Томский Университет), ведется работа по применению этих конструкций для построения минимальных моделей суперсимметричных релятивистских анионов. Отправными моделями для их построения служат минимальные модели релятивистских анионов, построенные гамильтоновой редукцией твисторной реализации  $(2+1)$ -мерной алгебры Пуанкаре [1].

Представлявшиеся совершенно формальными на начальной стадии изучения, суперсимметричные механики с четной и нечетной скобками Пуассона оказались связанными также с формулами локализации типа Дьюстермаата-Экмана (1983), и соответственно, эквивариантными когомологиями [11,14]. Помимо технического удобства, такой подход позволил дать новую интерпретацию эквивариантных характеристических классов, и построить их обобщения для поверхностей в заданном многообразии [13]. Он оказался весьма удобным также при описании неабелевых эквивариантных когомологий, позволив сформулировать модели, немедленно приводящие к формулам локализации [4].

Интерес к эквивариантным когомологиям и связанным с ними формулам локализации, проявляемый в последнее время в физическом сообществе, связан с созданием на их основе концептуально нового под-

хода к вычислению путевых интегралов, применяемого, в частности, в квантовой механике (Семенов, Ниemi, и др., 1991), и топологических теориях Янга-Миллса (Атья, Джеффри, 1990; Виттен, 1992).

Таким образом, антискобки, еще недавно бывшие "гадким утенком" супергеометрии, оказались универсальным и весьма удобным объектом, позволяющим объединить лагранжево BRST квантование, суперсимметричные гамильтоновы системы и (супер) симплектическую геометрию.

Проведенные работы поддержаны грантами Международного научного фонда (фонда Сороса), Международного центра фундаментальной физики в Москве, и совместным грантом ИНТАС-РФФИ.

## Литература

1. A. Nersessian. *On the Geometry of Relativistic Anyon*. Mod. Phys. Lett. **A12**, (1997), (in press)
2. O.M.Khudaverdian, A.Nersessian. *Batalin- Vilkovisky Formalism and Integration Theory on a Manifolds*. J.Math.Phys. **37** (1996), 3713
3. A.Nersessian. *Antibracket and non-Abelian Equivariant Cohomology*. Mod.Phys.Lett. **A10** (1995), 3043-3049
4. A.Nersessian, P.H.Damgaard. *Comments on the Covariant  $Sp(2)$  Symmetric Lagrangian BRST Formalism*. Phys. Lett. **B355** (1995), 150-156
5. A.Nersessian. *Antibrackets and Supersymmetric Mechanics*. NATO ASI Series **B331** (1994) 353-360, Plenum Publ.,
6. O.M.Khudaverdian, A.Nersessian. *Even and Odd Symplectic and Kählerian Structures on Projective Superspaces*. J.Math.Phys., **34**, No.12 (1993), 5533-5549
7. O.M.Khudaverdian, A. P. Nersessian. *On the Geometry of the Batalin-Vilkovisky Formalism*. Mod. Phys. Lett. **A8**, No.25 (1993), 2377-2386
8. A.Nersessian. *Antibrackets and Localization of (Path) Integrals*. JETP Lett, **58**, (1993), No.1, 66-70
9. A.Nersessian, *On the Geometry of Supermanifolds with Even and Odd Kählerian Structures* Theor. Math. Phys., **96**, (1993), 866-871

10. A.Nersessian, *From Antibracket to Equivariant Characteristic Classes*. Preprint JINR E2-94-377, Dubna, 1994.
11. A.Nersessian, *Equivariant localization: BV-geometry and Supersymmetric Dynamics*. Preprint JINR E2-93-358, Dubna 1993.

**НЕРСЕСЯН АРМЕН ПЕТРОСОВИЧ**, родился в 1964 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1986г., аспирантура ЕГУ (1987-1989гг.), кандидат физ.-мат. наук (1991г, ЕрФИ, диссертация "Суперсимметричные механики с четными и нечетными скобками Пуассона"), до 1990г. – м.н.с. кафедры теоретической физики ЕГУ, с 1991 по 1995г. – н.с. ЛТФ ОИЯИ, с 1996г. – с.н.с. ЛТФ ОИЯИ.  
Телефон: 63636; E-mail: nerses@thsun1.jinr.dubna.su

# НАБЛЮДАЕМЫЕ ФРИДМАНОВСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ В КЛАССИЧЕСКОМ И КВАНТОВОМ ГАМИЛЬТОНОВОМ ФОРМАЛИЗМЕ

В.В.Папоян, В.Н.Первушин

Необходимость привлечения квантовой теории для решения фундаментальных проблем классической космологии стимулировала разработку гамильтонова подхода к теории гравитации и, в частности, к космологическим моделям Вселенной. Основной задачей исследований по гамильтоновому описанию космологических моделей является построение волновой функции Вселенной. Вместе с тем, вопрос об отношении наблюдаемых классической фридмановской космологии к дираковским наблюдаемым гамильтонового формализма остается до конца не выясненным. Согласно Дираку, главной трудностью в определении "наблюдаемых" при гамильтоновом описании сингулярных систем со связями являются во-первых "лишние" переменные и во-вторых наличие связей первого рода, отражающих высокую симметрию исходной теории относительно группы преобразований, которую обычно называют "калибровочной". Корректное решение вопроса о наблюдаемых, повидимому возможно лишь при полном отделении сектора физических переменных от чисто калибровочного сектора "лишних" степеней свободы. Строго говоря, такая задача полного отделения физического и нефизического секторов не рассматривалась ни для одной космологической модели. В нашей работе мы используем развитый недавно общий метод гамильтоновой редукции сингулярных систем с отделением калибровочного сектора [1,2] в случае простой, но очень важной модели Вселенной со скалярным полем, для выяснения статуса наблюдаемых фридмановской Вселенной в классическом и квантовом гамильтоновом формализме. С этой целью строится лагранжева модель, уравнения движения которой совпадают с уравнениями фридмановской модели радиационно - доминантной Вселенной и затем, используя безкалибровочную версию дираковского гамильтонова подхода [3,4] отделяются физические и нефизические (калибровочные) переменные. Далее конструируются дираковские наблюдаемые, соответствующие понятию наблюдаемых во фридмановской космологии и проводится каноническое квантование предложенной модели в редуцированном фазовом пространстве [5,6], что дает

возможность описать космологические наблюдаемые в квантовой теории. Строится функциональный интеграл адекватный безкалибровочному гамильтонову квантованию, выясняется соответствующий этому квантованию способ упорядочения операторов в уравнении Уиллера-Де Витта (УДВ) и показано как в подходе УДВ модифицировать волновую функцию радиационно - доминантной Вселенной так, чтобы она описывала эволюцию Вселенной и красное смещение.

Таким образом, на простом примере однородной Вселенной, заполненной возбуждениями скалярного поля рассмотрено соотношение классической фридмановской космологии и дираковского гамильтонова подхода к квантованию Вселенной. На этом пути удалось показать, что связь фридмановских наблюдаемых с дираковскими осуществляется посредством конформного преобразования, а также установить, что одна из переменных нефизического сектора в процессе редукции превращается в параметр времени и не может рассматриваться в качестве динамической переменной. В этом превращении переменной в параметр причина как ненормируемости волновой функции УДВ, так и возникновения бесконечного калибровочного фактора в функциональном интеграле Хокинга-Хартли. Рецепт математического и физического осмысления уравнения и волновых функций УДВ, который дает безкалибровочная редукция, проясняет их отношение к классической космологии. С этой точки зрения, распространенное утверждение о стационарности волновой функции УДВ относительно исходного времени теряет смысл, поскольку теория инвариантна относительно репараметризации этого времени, что означает его ненаблюдаемость. Наблюдаемым временем оказывается именно та "игнорируемая" динамическая переменная из расширенного фазового пространства, которая в процессе безкалибровочной гамильтоновой редукции превращается в параметр. "Игнорируемая" переменная и отвечает за эволюцию фридмановской Вселенной как в классической, так и в квантовой теориях. В частности, показано, что вариация волновой функции Вселенной относительно собственного времени эйнштейновского наблюдателя ведет к красному смещению для безмассовых скалярных возбуждений. Иначе говоря, фридмановское расширение Вселенной для эйнштейновского наблюдателя становится формой существования физического времени. Поэтому не возникает вопрос о причине расширения Вселенной. К каким новым следствиям может привести такая гамильтонова интерпретация модели Фридмана? Для реальной Вселенной, заполненной протонами,

в условиях, когда кинетическая энергия протона намного превышает его энергию покоя квантовые возбуждения таких протонов становятся не отличимы от возбуждений безмассовых частиц. В такой Вселенной нет смысла говорить об эйнштейновском наблюдателе и собственном времени связанном с системой покоя массивных частиц. Все наблюдатели превращаются в светоподобные состояния, и для них в роли "собственных" времени и расстояния выступают конформные время и расстояние.

## Литература

1. A.Khvedelidze, V.Papoyan, V.Pervushin. *Quantum Evolution of the Universe: a Gaugeless Approach*. Gravitation and Cosmology, v.1, (1995), No.2, 81-87.
2. S.A.Gogilidze, A.M.Khvedelidze, V.N.Pervushin. *Admissible Gauge for Constrained Systems* Preprint JINR E2-95-203, Dubna, 1994. Phys. Rev. **D53**, (1996), 2160-2172.
3. A.Khvedelidze, V.Papoyan, V.Pervushin. *Gaugeless Reduction of Gravity and Evolution of the Universe*. Preprint JINR E2-94-163, Dubna, 1994; Phys.Rev. **D51** (1995), 5654-5663.
4. V.Pervushin, V.Papoyan, S.Gogilidze, et al., *Time-surface Term in Quantum Gravity*. ICTP preprint IC/95/269, Miramare-Trieste. Phys. Lett. **B365**, (1996), 35-40.
5. Ю.Г.Палий, В.В.Папоян, В.Н.Первушин. *Фридмановская Вселенная в схеме квантования редуцированного фазового пространства*. Астрофизика **40**, (1997), 125-138.
6. A.Khvedelidze, Yu.Paliy, V.Papoyan, V.Pervushin. *Description of Friedmann Observables in Quantum Universe*. Preprint JINR, **E2-97-84**, Dubna, 1997. Phys. Lett. **B**, (1997), (in press).

# МОДЕЛИ САМООРГАНИЗОВАННОЙ КРИТИЧНОСТИ

Вл.В.Папоян

В последнее время исследование неравновесных процессов в динамических системах со многими взаимодействующими элементами и критических свойств различных статмеханических моделей приобрело особое значение. Это объясняется тем, что многие физические явления характеризуются отсутствием характерного масштаба, сильными флуктуациями и неаналитичностью корреляционных функций. Однако из равновесной статистической физики известно, что только при наличии определенных симметрий или в критической точке можно ожидать самоподобия или флуктуаций, не имеющих характерного масштаба. Это заставляет искать источник масштабной инвариантности в природе среди большого числа неравновесных систем. Фактически, можно предположить, что существует целый класс неравновесных систем, которые обладают масштабной инвариантностью в широком или произвольном диапазоне изменения физических параметров, обеспечивая реализацию часто встречающейся в природе критичности.

Основываясь на этом, Бак, Танг и Везенфельд в 1988 году ввели концепцию само-организованной критичности (СОК) как общую форму описания класса динамических систем, которые эволюционируют в критическое состояние со степенными законами распределений диссипации дискретной энергии. Критическое состояние возникает автоматически без подстройки параметров. В этом состоянии малое событие вызывает цепную реакцию, которая может повлиять на любое число элементов системы. Более того, такие системы никогда не достигают равновесия, а вместо этого эволюционируют от одного метастабильного состояния к другому. Благодаря своей универсальности идеи СОК быстро нашли широкое отражение в различных областях исследований, от геофизики до экономики, как прообраз механизма, объясняющего возникновение масштабной инвариантности и сложных структур в природных явлениях. Оказалось, что многие модели описывающие распространение информации, транспортные потоки, биологическую эволюцию, землетрясения, лесные пожары и другие сложные казалось бы не связанные явления обнаруживают признаки самоорганизованной критичности. Этим объясняется актуальность исследований моделей СОК.

Поскольку трудно построить реалистичную модель, поддающуюся теоретическому описанию, исследование явления СОК как правило основано на изучении дискретных решеточных моделей. В последние годы был предложен целый ряд моделей СОК, исследование которых проводилось либо с помощью численных экспериментов, либо приближенными аналитическими методами. Самой популярной из этих моделей является модель Бака-Танга-Везенфельда (БТВ), так называемая "песочная куча". Эта модель с течением времени эволюционирует в определенное критическое состояние, в котором различные динамические характеристики имеют степенные распределения. Модель обладает абелевой структурой и может быть исследована с помощью аналитических методов. Кроме того дискретная структура модели позволяет исследовать ее методами компьютерного моделирования.

В 1992 году в лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ профессором В.Б.Приезжевым была организована научная группа, которая успешно занимается этой тематикой. Получены как численные так и аналитические результаты, которые дали более полное описание модели БТВ. Аналитически найдены все граничные корреляторы и точно вычислены динамические критические индексы лавинообразных процессов модели, а также ее структурные характеристики. Доказана волновая структура лавинообразных процессов. Предложена (В.Б. Приезжев и Д. Дхар) наиболее общая R-модель СОК, содержащая в качестве частных случаев модель БТВ, модель эйлеровых блуждателей (случайное блуждание на ориентированной решетке) и случайную модель Манны.

Результаты полученные нами по проблеме СОК (частично совместно с аспирантом ЕГУ (1993 - 1995гг.) Р.Р. Щербаковым) сводятся к следующему:

Численно исследованы асимптотики распределений размеров волн в лавинах в двумерной абелевой БТВ модели. Получены оценки показателей для пяти серий волн, включая первую и последнюю волны лавины. а также распределение размеров волны общего вида и граничной лавины. Эти результаты хорошо согласуются с теоретическими предсказаниями и численными оценками других авторов [1].

Абелева модель БТВ была рассмотрена на решетке Хюзими из квадратных [2] и треугольных [3] плакетов. Получены аналитически точные выражения для распределения вероятностей высот в состоянии самоорганизованной критичности. Также были точно вычислены двух-



точечные корреляционные функции для узлов расположенных глубоко внутри решетки. Была найдена обобщенная формула для распределения вероятностей высот на решетке Хюзими с произвольным координационным числом  $q$ .

Для модели эйлеровых блуждателей на квадратной решетке, используя метод Монте-Карло и конечно-размерный анализ, удалось исследовать распределения вероятностей "лавины цикличности" и найти динамические критические индексы [4].

Завершена работа, посвященная обобщению ренормгруппового подхода Петронеро к модели БТВ на треугольной решетке, в которой проводится сравнение вероятностей ветвления деревьев и неподвижной точки [5].

Фронт работ, посвященных изучению явления СОК, и в настоящее время остается достаточно широким. Остановимся на тех задачах, которые непосредственно примыкают к исследованию R-модели:

1. Для R-модели на квадратной решетке вычислить распределение вероятностей дискретных переменных узловых точек решетки и их корреляционные функции.
2. Найти графическое представление рекуррентных конфигураций и лавинообразных процессов, и вычислить динамические критические индексы R-модели.
3. Определить классы универсальности различных вариантов R-модели и выяснить их связи с соответствующими классами моделей фазовых переходов второго рода.
4. Найти структурные и динамические характеристики R-модели на решетках с древовидной структурой и в средне-полевом приближении.
5. Обобщить ренорм-групповой подход Петронеро к стохастической R-модели.
6. Провести численное моделирование методом Монте-Карло и сопоставить данные компьютерных экспериментов с результатами, полученными аналитическим путем.

## Литература

1. D.V.Ktitarev and V.I.V.Papoyan. *Numerical Study of Waves of Topplings in the Abelian Sandpile Model*. Phys. Lett. **A196** (1994) 52.
2. V.I.V.Papoyan and R.R.Shcherbakov. *Abelian Sandpile Model on the Husimi Lattice of Squar Plaquettes* J.Phys. **A28** (1995) 6099.
3. V.I.V.Papoyan and R.R.Shcherbakov. *Distribution of Heights in the Abelian Sandpile Model on the Husimi lattice* Fractals **4** (1996) 97.
4. R.R.Shcherbakov, V.I.V.Papoyan, A.M.Povolotsky. *Critical Dynamics of Self- Organizing Eulerian Walkers* Phys. Rev. **E55** (1997) 3686.
5. V.I.V.Papoyan and A.M.Povolotsky. *Renormalization Group Study of Sandpile on the Triangular Lattice* Physica A **246**, (1997), 241-252.

**ПАПОЯН ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ**, родился в 1962 году, окончил физический факультет ЕГУ в 1983г, аспирантура МИАН им. В.А.Стеклова, (1983-1986гг.), кандидат физ.-мат. наук (1988г, МИАН им. В.А.Стеклова, диссертация "Проблема эквивалентности ансамблей для бозе систем"), до 1992г. – н.с. кафедры теоретической физики ЕГУ, с 1992г. – с.н.с. ЛТФ ОИЯИ  
Телефон: 63636; E-mail: vrap@thsun1.jinr.dubna.su

# ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ

О.М.Худавердян

В последние десять–двадцать лет методы квантования в теории поля существенно обогатились BRST методом. Этот метод квантования сингулярных лагранжианов (системы со связями), которыми в частности описываются калибровочные теории, является далеко продвинутым обобщением метода неопределенных лагранжевых множителей.

Используемый изначально в приложении к полям Янг–Миллса в настоящее время BRST метод приобрел самостоятельный смысл. В частности в некоторых теориях роль BRST заряда не менее фундаментальна чем роль лагранжиана (например в струнах и топологических теориях). С другой стороны, и мы подробно коснемся тут этого вопроса, формально–математические аспекты этого метода обогатили математическую физику связями с гомологической алгеброй и, что существенно, явились стимулом для исследований в симплектической геометрии суперпространств. В каком-то смысле существенным моментом применения математики в физике является проблема решения уравнения

$$\mathbf{U} = 0. \quad (1)$$

Эта задача тривиальна с формально–математической точки зрения если пространство  $\Gamma$  которому принадлежит  $\mathbf{U}$  линейно: если  $\{\mathbf{e}_i\}$  – базис  $\Gamma$ , то решение уравнения (1) сводится к решению системы алгебраических уравнений:

$$\mathbf{U} = U^i \mathbf{e}_i = 0 \implies U^i = 0 \quad \text{для любого } i. \quad (2)$$

Если же пространство  $\Gamma$  нелинейно или же невозможен выбор набора  $\{\mathbf{e}_i\}$ , который одновременно полон, независим и не нарушает физической симметрии задачи, в задаче возникают нетривиальные осложнения. Именно с этой ситуацией мы сталкиваемся в динамике систем со связями.

Поясним сказанное на примере.

Пусть гамильтониан  $H$  описывает динамику в фазовом пространстве  $E$  со связями  $\varphi_a = 0$ , определяющими поверхность  $M$ . Пусть  $\Gamma_0$

пространство всех функций на  $E$  и  $J_M$  пространство функций, зануляющихся на  $M$ . Тогда физическим сектором будет фактор-пространство  $\Gamma_{ph} = \Gamma/J_M$ . ( $J_M$  — это идеал в  $\Gamma_0$ , порожденный набором связей  $\{\varphi_a\}$ ).

Как работать с физическим пространством  $\Gamma_{ph}$ , в терминах пространства  $\Gamma_0$ , то есть не разрешая явно связей  $\{\varphi_a\}$ ?

$$0 \longrightarrow J_M \longrightarrow \Gamma_0 \xrightarrow{\pi} \Gamma_{ph} \longrightarrow 0. \quad (3)$$

В этой короткой точной последовательности  $J_M$  несвободный модуль над  $\Gamma_0$ , если количество связей больше одной: в пространстве функций  $J_M = \{f: f = \sum R^a \varphi_a\}$  где  $R^a \in \Gamma_0$  невозможно выбрать базис над кольцом  $\Gamma_0$ .

Однако аналогично (3) можно "развязать" связи в  $J_M$ :

$$0 \longrightarrow J_M^{(1)} \longrightarrow \Gamma_1 \xrightarrow{\pi} J_M \longrightarrow 0, \quad (4)$$

где  $\Gamma_1$  уже свободный модуль, размерность которого равна количеству связей  $\{\varphi_a\}$ :  $\Gamma_1 \ni f = \sum R^a e_a$ ,  $\pi e_a = \varphi_a$ . Аналогично модуль  $J^{(1)} = \{f: \Gamma_1 \ni f = R^{[ab]} \varphi_b\}$  также несвободен (если количество связей больше двух) и мы имеем

$$0 \longrightarrow J_M^{(2)} \longrightarrow \Gamma_2 \xrightarrow{\pi} J_M^{(1)} \longrightarrow 0, \quad (5)$$

и так далее...

В итоге получается, что коль скоро (в силу серьезных физических причин!) мы не хотим явно разрешать связи и работать в терминах свободных модулей, то нам приходится описывать физическое пространство  $\Gamma_{ph}$  в терминах "башни" свободных модулей  $\Gamma_0, \Gamma_1, \Gamma_2$ , и т.д.:

$$\dots \xrightarrow{\pi} \Gamma_k \xrightarrow{\pi} \Gamma_{k-1} \dots \xrightarrow{\pi} \Gamma_2 \xrightarrow{\pi} \Gamma_1 \xrightarrow{\pi} \Gamma_0 \xrightarrow{\pi} \Gamma_{ph} \longrightarrow 0 \quad (6)$$

$$(\Gamma_k = \Gamma_1 \wedge \dots \wedge \Gamma_1)$$

Мы попадаем в мир гомологической алгебры!

В физических терминах

$$\Gamma_{enlarged} = \Gamma_0 \oplus \Gamma_1 \oplus \dots \oplus \Gamma_k \quad (7)$$

есть фазовое пространство, оснащенное гостями [1]. А именно последовательность (7) описывается суперпространством

$E_{enlarged}$  с координатами  $z^A = (x, \eta^1, \dots, \eta^k)$ , где  $x$  координаты фазового

пространства  $\Gamma_0$ , а  $\eta_m$  нечетные координаты соответствующие связям ( $k$  – число связей). Элементу  $R^{a_1 \dots a_m} e_{a_1} \wedge \dots \wedge e_{a_m}$  пространства  $\Gamma_m$  соответствует функция  $R^{a_1 \dots a_m} \eta_1 \dots \eta_m$ , а проекции  $\pi$  в (6) соответствует нечетное векторное поле  $\partial$ :  $\pi \eta_m = \varphi_m$ ,

$$\partial f(x, \eta_1, \dots, \eta_k) = \varphi^a \frac{\partial f}{\partial \eta_a} \quad (8)$$

Используя аналогичные конструкции возможно описывать соответствующую динамику в терминах суперматематики. Оказывается, что наведение соответствующей симплектической структуры на таком суперпространстве позволяет перевести описание динамики системы с языка гомологической алгебры на язык гамильтоновой механики этого суперпространства. BRST заряд теории в этих терминах—это специальным способом построенная нечетная функция  $Q$  на суперпространстве  $E_{enlarged}$ , которая однозначно определяется связями  $\varphi^a$  теории и соотношением  $\{Q, Q\} = 0$ —Когомологиям оператора  $D_Q$  ( $D_Q^2 = \frac{1}{2}[D_Q, D_Q] = 1/2D_{\{Q, Q\}} = 0$ ) соответствуют физические величины теории.

Оказывается, что такой подход возможен не только при гамильтоновом описании динамики, но также и при лагранжевом. Если при гамильтоновом подходе подходящая симплектическая структура суперпространства  $E_{enlarged}$  это поднятие симплектической структуры с изначального фазового пространства, то в лагранжевом подходе, где в изначальном конфигурационном пространстве отсутствует симплектическая структура, мы приходим к экзотической нечетной симплектической структуре в  $E_{enlarged}$ .

Исторически сложилось так, что BRST подход, введенный в работах [2], был осознан вначале в терминах симплектической геометрии (Гамильтонов подход – четная симплектическая структура [3], Лагранжев подход – нечетная симплектическая структура [4]), а лишь затем в терминах гомологической алгебры [1].

Следует отметить, что геометрия нечетной симплектической структуры разительно отличается как от стандартной симплектической геометрии так и от геометрии четной симплектической структуры, которая качественно не отличается от стандартной. Можно сказать, что пионерская работа Баталина и Вилковыского [4], фактически положила начало новому интересному разделу в симплектической геометрии. Важные результаты в этом направлении были получены автором в работах [5,6]. В частности им была по-видимому первым осознана в [6]

проблема геометризации  $\Delta$ -оператора—важнейшего ингредиента формализма Баталина–Вилкововского.

Моя основная деятельность в период моего прикомандирования в Дубне (1992–1996гг.) проводилась совместно с сотрудником ЛТФ А.П.Нерсесяном. Она касалась исследования нечетной симплектической геометрии, связанной с лагранжевым подходом (формализмом Баталина–Вилкововского.) Нами была исследована геометрическая интерпретация этого формализма. Эти исследования представляли независимый математический интерес. В этом году мною был построен по видимому новый геометрический объект нечетной симплектической геометрии, имеющий аналогии со средней кривизной гиперповерхностей в римановой геометрии и проясняющий геометрический смысл нечетной инвариантной полуплотности [5]. Полученные результаты диктуют необходимость дальнейшего продолжения работы в этом направлении.

Нами совместно со студентом – дипломником кафедры теорфизики ЕГУ Саакяном Д., была выполнена работа о связи между обобщенными симметриями лагранжианов и когомологиями соответствующих алгебр симметрий. При решении проблемы использовались продвинутое методы гомологической алгебры, которые проявили связь с задачей о соотношениях между BRST методом и стандартной гамильтоновой редукцией. Мы собираемся приступить к решению этой задачи. Используемый нами аппарат только-только начал проникать в матфизiku. По многим признакам он должен оказаться плодотворным в проблемах современной квантовой теории поля [7,8,9].

Следует отметить глубокие формально-математические связи между алгебраическим подходом к BRST формализму и такими задачами компьютерной алгебры, как алгоритмическое построение удобных базисов в идеалах коммутативных алгебр (базисы Гребнера,...). Эти задачи составят предмет моих будущих исследований (отметим, что в настоящее время, в этом направлении весьма интенсивно работает семинар проф. Гердта В.П.).

## Литература

1. V.Kostant, S.Sternberg. *Symplectic reduction, B.R.S. cohomology and infinite-dimensional Clifford algebras*. *Annals of Physics* **176**, (1987), 49.
2. I.V.Tyutin, *Gauge invariance in field theory and statistical mechanics in the operator formalism*. Lebedev Physical Institute preprint FIAN

- N39** (1975). C.Becchi, A.Rouet, R.Stora, *Commun. Math. Phys.*, **42**, (1975), 127.
3. E.S.Fradkin, G.A.Vilkovisky. *Quantization of relativistic systems with constraints*. *Phys. Lett.*, **B55**, (1975), 224.
  4. I.A.Batalin, G.A.Vilkovisky. *Gauge algebra and quantization*. *Phys. Lett.*, **B102**, (1981), 27.
  5. O.M.Khudaverdian, R.L.Mkrtchian. *Integral invariants of Buttin bracket*. *Lett. Math. Phys.*, **18**, (1989), 228.
  6. O.M.Khudaverdian. *Geometry of superspace provided by Poisson brackets of different gradings*. *J. Math. Phys.*; **32**, (1991), 1934.
  7. M.Dubois-Violette. *Systems dynamiques contraintes: L'approche homologique*. *Ann. Inst. Fourier*, **37**, N4, (1987), 45.
  8. T.Kimura. *Generalized Classical BRST Cohomology and Reduction of Poisson Manifolds*. *Comm. Math. Phys.*, **153**, (1993), 447.
  9. B.H.Lian, G.J.Zuckerman. *New Perspectives on the BRST Algebraic Structure of String Theories*. *Comm. Math. Phys.*, **159**, (1994), 265.

**ХУДАВЕРДЯН ОГАНЕС МКРТЫЧЕВИЧ**, родился в 1955 году, окончил факультет теоретической и экспериментальной физики МИФИ в 1978г, кандидат физ.-мат. наук (1982г, МИФИ, диссертация "Мультипликативные и аддитивные функционалы; их роль в квантовой теории поля"), до 1996г. – с.н.с. кафедры теоретической физики ЕГУ, с 1996г. – с.н.с. ЛВТА ОИЯИ.

Телефон: 64238; E-mail: khudian@vxjinr.jinr.ru

**ДУБНА—ЕРЕВАН.  
ОРБИТЫ СОТРУДНИЧЕСТВА**

**К 80-летию со дня основания  
Ереванского государственного университета**

**99-245**

**Макет Н.А.Киселевой**

**Рукопись сборника поступила 13.09.99. Подписано в печать 14.09.99.  
Формат 70 × 100/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 6,3  
Тираж 200. Заказ 51577.**

**Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области**