

**Ученый,
организатор науки,
товарищ и учитель**

*Книга о
Гапонове
Юрии
Владимировиче*

Москва 2014

УДК 539.165

ББК 22.9

У 91

Ученый, организатор науки, товарищ и учитель... Книга о Гапонове Юрии Владимировиче. – М.: «Тровант», 2014. – 174 с. : ил.

Научный редактор: доктор физ.-мат. наук Ю. С. Лютостанский.

Редакционная группа: Ю.В. Линде, В.В. Хрущев, С.В. Семенов, Г.В. Поволоцкая.

Книга посвящена известному ученому в области ядерной физики и физики слабых взаимодействий, доктору физико-математических наук, профессору, трижды лауреату премии имени И.В. Курчатова Юрию Владимировичу Гапонову.

Книга состоит из двух частей: в первой – приведен ряд научных трудов, отражающих основные направления научной деятельности Ю.В. Гапонова в Курчатовском институте, во второй – воспоминания сотрудников, друзей, учеников и фотоальбом.

Для читателей, интересующихся историей отечественных исследований в области физики ядра и слабых взаимодействий.

Редакционная группа выражает благодарность жене Ю.В. Гапонова – И.С. Гапоновой за предоставление архивных материалов и фотографий.

ISBN 978-5-89513-344-6

Юрий Владимирович Гапонов

Юрий Владимирович Гапонов родился 3 сентября 1934 года в городе Свердловске (ныне Екатеринбург).

В 1952 году он поступил на физфак МГУ им. М.В. Ломоносова, окончил его с отличием в 1958 г. и был оставлен в аспирантуре.

В 1957 году в ЖЭТФ (т. 33, стр. 256) совместно с В.С. Поповым выходит первая работа Ю.В. Гапонова « β - γ - корреляции для разрешенных переходов при несохранении четности», которая была посвящена наиболее актуальной в то время теме – нарушению четности в слабых взаимодействиях. Расчет этих корреляций был проведен Ю.В. Гапоновым впервые в мире и не утратил своего значения до настоящего времени.

В 1960 – 1961 годах Ю.В. Гапонов работал освобождённым секретарём комитета ВЛКСМ физфака МГУ. Он был одним из главных вдохновителей – организаторов проведения Дня физика на физфаке МГУ, знаменитой физфаковской студии "Архимед". Затем он вернулся в аспирантуру физфака и закончил ее в 1962 г.

С января 1963 года Ю.В. Гапонов начал работать младшим научным сотрудником в знаменитом десятом секторе ИАЭ им. И.В. Курчатова руководимым выдающимся физиком-теоретиком А.Б. Мигдалом.

В 1964 году в ЖЭТФ (т. 47, стр. 1926) совместно с И.В. Тютиным выходит уже ставшая классической работа Ю.В. Гапонова «Неупругое рассеяние нейтрино на дейтоне», которая имеет важнейшее значение для развития физики элементарных частиц. На основе этой реакции, впервые исследованной Ю.В. Гапоновым, были проведены уникальные эксперименты по изучению нейтринных осцилляций в нейтринной обсерватории SNO (Канада), результаты которых в дальнейшем привели к решению проблемы дефицита солнечных нейтрино.

Летом 1964 года он работал в целинном стройотряде, за работу был награждён медалью «За освоение целинных земель» и медалью ВДНХ.

В 1965 году, работая в Курчатовском институте под руководством А.Б. Мигдала, Ю.В. Гапонов был удостоен Курчатовской премии за цикл фундаментальных работ по теории

ядра, связанных с развитием теории конечных ферми-систем в атомных ядрах.

В 1966 году Ю.В. Гапонов защитил в Институте теоретической и экспериментальной физики диссертацию «Вопросы теории β -распада ядер» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Научным руководителем диссертационной работы был известный физик-теоретик И.С. Шапиро.

В 1972-73 годах в журнале Письма в ЖЭТФ (т. 15, стр. 173 и т. 18, стр. 130) Ю.В. Гапоновым совместно с Ю.С. Лютостанским были опубликованы работы по предсказанию нового гигантского ядерного резонанса и была высказана гипотеза о восстановлении нарушенной суперсимметрии в тяжелых ядрах. Много лет позже этот гигантский Гамов-Теллеровский резонанс был обнаружен в экспериментах в США, а развитие идеи о восстановлении вигнеровской суперсимметрии в тяжелых ядрах позволило разработать новый и очень точный метод описания масс атомных ядер. Это направление исследований продолжает развиваться и в настоящее время учениками и последователями Ю.В. Гапонова.

В 1977 г. Ю.В. Гапонов стал старшим научным сотрудником ИАЭ, а в 1978 г. получил звание старшего научного сотрудника.

В 1986 г. Ю.В. Гапонов защитил диссертацию «Гамов - Теллеровский изобарический резонанс» на соискание ученой степени доктора физико - математических наук.

С 1990 года Ю.В. Гапонов был зам. председателя (ученый секретарь) Научного совета РАН по физике нейтрино, а затем и членом Научных советов РАН по ядерной и прикладной ядерной физике.

С 1991 по 1994 год Ю.В. Гапонов работал ведущим научным сотрудником, а затем заведующим лабораторией теории электромагнитных и слабых процессов Института молекулярной физики РНЦ КИ.

В 1994 году Ю.В. Гапонову было присвоено звание профессора. Под его руководством было защищено восемь кандидатских диссертаций и выросла целая научная школа физиков-теоретиков хорошо известных как у нас в стране, так и за рубежом.

С 1994 года Ю.В. Гапонов – член экспертного совета ВАК РФ по физике.

С 1998 года Ю.В. Гапонов – член Международного программного комитета по ядерной физике ОИЯИ (Дубна).

С 2004 года Ю.В. Гапонов работал заместителем директора по науке Института молекулярной физики в РНЦ «Курчатовский институт».

В 2012 году за цикл работ «Предсказание и исследование свойств гигантского Гамов-Теллеровского резонанса – новой ветви спин-изоспиновых возбуждений атомных ядер (теория и эксперимент)» Ю.В. Гапонов (посмертно) в соавторстве с Ю.С. Лютостанским, А.А. Оглоблиным и С.Б. Сакутой были удостоены премии им. И.В. Курчатова «за лучшую работу в области научных исследований 2012 г.».

Юрий Владимирович Гапонов широко известный физик-теоретик, он занимался исследованиями в области физики нейтрино и слабого взаимодействия, нейтронной и ядерной физики, физики тяжелых и сверхтяжелых изотопов, автор более 120 научных работ. В последние годы он проводил исследования по физике майорановских нейтрино, физике изотопов и теории двойного бета-распада ядер, а также астрофизическим проблемам, связанным с происхождением и свойствами тяжелых и сверхтяжелых ядер.

Чрезвычайно ценен вклад, сделанный Ю.В. Гапоновым в развитие исследований по истории советского атомного проекта. По его инициативе были проведены две международные научные конференции – в Дубне (1996 г.) и в Вене (1999 г.), был издан трехтомник докладов, в который вошли воспоминания непосредственных участников становления атомной техники и развития советского атомного проекта, что, безусловно, представляет огромный научный и общественный интерес. За эти работы, имеющие большое значение для популяризации достижений Курчатовского института, Юрий Владимирович был удостоен звания лауреата премии им. И.В. Курчатова. Юрий Владимирович являлся одним из инициаторов создания постоянно действующего семинара по истории атомного проекта в Институте истории естествознания и техники.

Работы Юрия Владимировича Гапонова получили широкое международное признание. Ю.В. Гапонов не раз посещал институт Нильса Бора в Копенгагене; часто бывал в Германии, в Институте Макса Планка (Гейдельберг) и других известных

международных центрах, где читал лекции по физике нейтрино, физике тяжелых и сверхтяжелых элементов, по истории науки, выступал с докладами о великих физиках – Игоре Васильевиче Курчатове и Этторе Майорана.

Юрий Владимирович воспитал большое количество учеников, ведущих исследования на важнейших направлениях физики атомного ядра и элементарных частиц.

Юрий Владимирович Гапонов являлся членом ряда программных комитетов международных конференций по физике слабого взаимодействия, организатором и сопредседателем Оргкомитетов международных конференций по атомной истории (HISAP'96 – Дубна; HISAP'99 – Австрия). А также он был одним из руководителей общемосковского семинара по атомной истории ИИЕТ РАН и член Ученого Совета РНЦ Курчатовского института и НТС -11 Росатома.

Юрий Владимирович Гапонов трижды лауреат премии имени И.В. Курчатова, ему присвоено звание “Ветеран атомной энергетики и промышленности”.

Предисловие

В Курчатовском институте – Национальном исследовательском центре работали и работают известные ученые с мировыми именами. Наш институт славен именами многих выдающихся деятелей отечественной науки и известных во всем мире ученых, которые внесли неоценимый вклад в решение сложнейших проблем фундаментальной физики. В ряду этих замечательных людей достойное место занимает Юрий Владимирович Гапонов, ученый с мировым именем в области физики атомного ядра и элементарных частиц.

Работы Ю. В. Гапонова в области физики слабых взаимодействий, физики ядерных реакций и применению теории групп в ядерной физике получили широкое международное признание. Он успешно сотрудничал с учеными США, Германии, Франции, Дании и других стран в проведении совместных исследований и организации международных научных конференций и семинаров.

Талант Ю.В. Гапонова ярко проявился на путях научно-стратегического и организационного направлений. Он много сделал для разработки программы Основных направлений и тем совместных научных исследований Курчатовского института и Объединённого института ядерных исследований. Заложенные в то время основы сотрудничества в области физики высоких энергий, физики слабых взаимодействий и компьютерных технологий оказались очень важными и плодотворными. Достаточно упомянуть совместное участие КИ и ОИЯИ в эксперименте ALICE на Большом адронном коллайдере LHC в ЦЕРН, эксперименты по поиску двойного бета распада, в организацию которых внес большой личный вклад Ю.В. Гапонов. Также следует упомянуть исследования солнечных нейтрино в рамках проекта Bogehino и нейтринных осцилляций – проект Double Chooz и китайский проект Daya Bay. Ю.В. Гапонов говорил о Российском Мегапроекте по нейтринной физике, где в частности, были запланированы совместные работы по этому китайскому проекту и соответствующие контакты на уровне Правительства РФ и Российской Академии Наук.

Юрий Владимирович создал современную научную школу, занимающую лидирующие позиции в области нейтринной

физики и физики атомного ядра. Его ученики сейчас с успехом работают во многих областях современной физики.

Ю.В. Гапонов с большим интересом занимался историей развития атомных проектов как советского, так и зарубежных. Этот интерес реализовался в организации (совместно с Институтом истории естествознания и техники) Общественного семинара по истории Советского атомного проекта, который успешно работает по настоящее время. Доклады на семинаре делались ведущими советскими учёными, принимавшими участие в Атомном проекте. Несомненной заслугой Ю.В. Гапонова было организация и проведение двух международных симпозиумов по истории атомных проектов (Дубна, 1996г. и Лаксенбург, Австрия, 2000г.) В проведении обоих симпозиумов роль Ю.В. Гапонова была определяющей. Он был заместителем председателя Программных комитетов, проводил сложные переговоры с различными государственными структурами и в результате, впервые в истории за одним круглым столом встретились лицом к лицу наши и американские ученые-ядерщики.

Юрий Владимирович был непосредственным организатором и основателем художественной студии физиков «Архимед», которая в течение многих десятилетий ставила интереснейшие спектакли на сценах домов культуры МГУ, Курчатовского и других институтов, выезжала со своими постановками в другие города.

В книге о Юрии Владимировиче Гапонове удачно представлены все многочисленные грани таланта этого замечательного человека. Большой интерес представляют воспоминания его соратников, учеников и близких друзей. Хотелось бы пожелать, чтобы эта книга помогла лучше узнать и понять человека, отдавшего более пяти десятилетий своей жизни служению избранному делу, воспитавшего десятки молодых ученых, замечательному организатору науки, одному из ведущих физиков-теоретиков Курчатовского института.

Президент НИЦ «Курчатовский институт»
Академик Е. П. Велихов

**ИЗБРАННЫЕ
НАУЧНЫЕ ТРУДЫ**

В разделе «Избранные научные труды» представлен ряд трудов Ю.В. Гапонова, отражающих основные направления его научной деятельности в Курчатовском институте.

Первой представлена, ставшая уже классической, фундаментальная работа Ю.В. Гапонова по распаду дейтрона при взаимодействии с нейтрино в нейтральном канале (совместно с И.В. Тютиным). Эта работа сыграла ключевую роль при постановке эксперимента по решению проблемы дефицита солнечных нейтрино. Она имеет важнейшее значение для развития физики элементарных частиц, а идеи, изложенные в этой работе, легли в основу уникальных экспериментов по изучению нейтринных осцилляций.

В работе, посвященной трехфлейворной паулиевской модели майорановских нейтрино и проблеме нейтринных масс, Ю.В. Гапонов предлагает оригинальную теорию описания майорановских нейтрино, как состояний, реализующих паулиевскую симметрию, которым можно сопоставить обобщенные нейтринные заряды. В этой работе были также получены оценки масс майорановских нейтрино, которые согласуются с современными экспериментальными данными.

В книге далее представлена фундаментальная работа по теоретической ядерной физике по описанию свойств гигантского Гамов-Теллеровского резонанса – новой ветви спин-изоспиновых возбуждений атомных ядер (совместно с Ю.С. Лютостанским). Эта работа подытоживает цикл публикаций по предсказанию нового гигантского ядерного резонанса и описанию его свойств и различных ядерно-физических характеристик. Ранее в работе, опубликованной в 1973 году (18, стр. 130) была высказана гипотеза о восстановлении нарушенной суперсимметрии в тяжелых ядрах. Эта интересная идея была впоследствии развита Ю.В. Гапоновым совместно с его учениками, что позволило разработать новый и очень точный метод описания масс атомных ядер. В приведенной в книге обзорной статье представлено описание гигантского Гамов-Теллеровскому резонанса (ГТР) и других ветвей коллективных возбуждений ядер в рамках теории конечных ферми-систем, доказана связь ГТР с вигнеровской $SU(4)$ суперсимметрией, а также дано описание силовой функции β -распада и процессов, сопровождающих β -распад ядер с большим избытком нейтронов. Анализируется влияние сателлитов ГТР на характеристики распадов нейтронно-избыточных ядер. В статье представлен также круг задач связанных с ГТР и силовой функцией бета-распада от вопросов ядерного взаимодействия и свойств нейтронно-избыточных ядер до проблем астрофизического нуклеосинтеза и нейтринной диагностики ядерных реакторов.

Неупругое рассеяние нейтрино на дейтроне

Ю.В. Гапонов, И.В. Тютин

ЖЭТФ, т. 47, вып. 5(11), стр. 1826-1828 (1964)

Вычислено сечение реакции $\nu + d \rightarrow \nu + p + n$ для случаев S - и P -состояний np - пары. При расчетах был использован гамильтониан слабого взаимодействия с нейтральным током нейтрино.

Вопрос о возможности существования нейтрального тока нейтрино в гамильтониане универсального слабого взаимодействия и о взаимодействии нейтрино с нуклонами рассматривался в ряде работ [1-5]. Экспериментально такой процесс может изучаться при наличии мощного пучка нейтрино (или антинейтрино) либо в области высоких энергий с использованием ускорительной методики [6], либо в области низких энергий с использованием ядерных реакций с малым порогом. В последнем случае может быть использована экспериментальная техника Райнса и Коуэна [7] или методика, недавно предложенная Микаэляном и Спиваком [8]. Исследования в области высоких энергий ведутся в основном на μ -мезонных нейтрино, тогда как при низких энергиях используются электронные нейтрино. Поэтому изучение взаимодействия нейтрино с ядрами при малых энергиях интересно, независимо от результатов ускорительных экспериментов.

С этой точки зрения представляют интерес теоретические оценки сечения развала дейтрона при неупругом рассеянии нейтрино низких энергий. Гамильтониан такого процесса имеет вид

$$H = 2^{-1/2} G \left[\bar{\Psi}_N \gamma_\mu (1 + \lambda \gamma_5) (A \hat{I} + \beta \hat{t}_z) \Psi_N \right] \left[\bar{\Phi}_\nu \gamma_\mu (1 + \gamma_5) \Phi_\nu \right];$$

$$A = 1/2(\lambda_1 + \lambda_2), \quad B = 1/2(\lambda_1 - \lambda_2),$$

где $G\lambda_1$ и $G\lambda_2$ – константы слабого взаимодействия нейтрино соответственно с протоном и нейтроном.

В области низких энергий (до 15 MeV) падающих нейтрино можно пренебречь энергией отдачи и пользоваться обычным для β -распада приближениями разрешенных и запрещенных переходов, происходящими от разложения в ряд экспоненты в матричном элементе. Тогда полная энергия, выделяющаяся в реакции, дается соотношением

$$E_0 = E_\nu - E_d = E_\nu + \mathbf{q}^2 / M = E_\nu + E_k,$$

где $E_{\nu'}$ – энергия падающего, E_{ν} – энергия вылетающего нейтрино, E_d – энергия связи дейтрона, E_k и \mathbf{q} – энергия и импульс относительного движения np -пары, M – масса нуклона. В приближении разрешенного перехода конечное состояние системы np будет 1S_0 и дифференциальное сечение процесса $\nu' + d \rightarrow n + p + \nu$, рассчитанное в приближении эффективного радиуса, дается формулой

$$d\sigma = (\lambda_1 - \lambda_2)^2 d\sigma_1,$$

$$d\sigma_1 = G_V^2 \lambda^2 \frac{2}{\pi^2} \lambda_e^2 \frac{\sqrt{E_d}}{1 - \sqrt{E_d M r_T}} \frac{(E_0 - E_k)^2 E_k^{1/2}}{(E_d + E_k)^2} \times$$

$$\times \frac{\left[a_s \sqrt{M E_d} - (1 - 1/2 a_s r_s M E_k) - 1/4 a_s (r_s + r_T) M (E_d + E_k) \right]^2}{a_s^2 M E_k + (1 - 1/2 a_s r_s M E_k)^2} dE_k =$$

$$= 10,3 \cdot 10^{-22} G_V^2 \lambda^2 \frac{(E_0 - E_k)^2 E_k^{1/2}}{(4,36 + E_k)^2} \frac{(5,25 + 0,059 E_k)^2}{7 E_k + (1 + 0,368 E_k)^2} dE_k,$$

$$G_V = G_V \beta \left(\frac{m_e^2 c}{\hbar^3} \right),$$

где массы и энергии даны в единицах массы электрона m_e , длины и эффективные радиусы – в комптоновской длине электрона λ_e ; G_V – безразмерная константа слабого взаимодействия ($G_V = 0,3 \cdot 10^{-11}$).

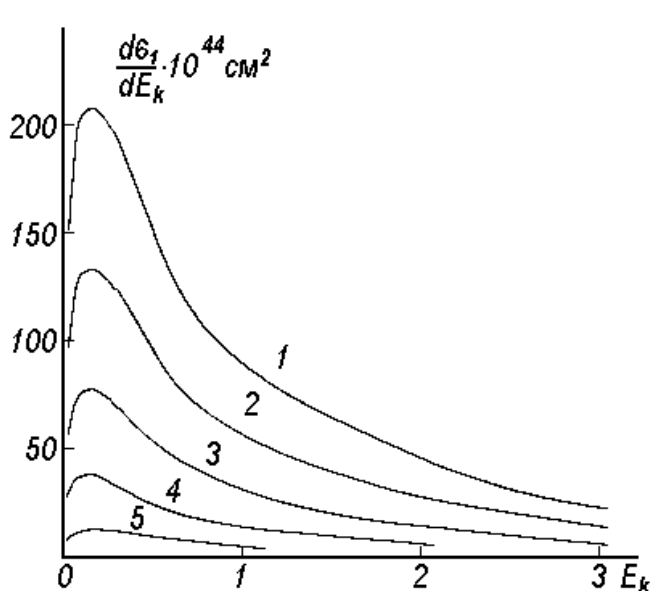


Рис. 1

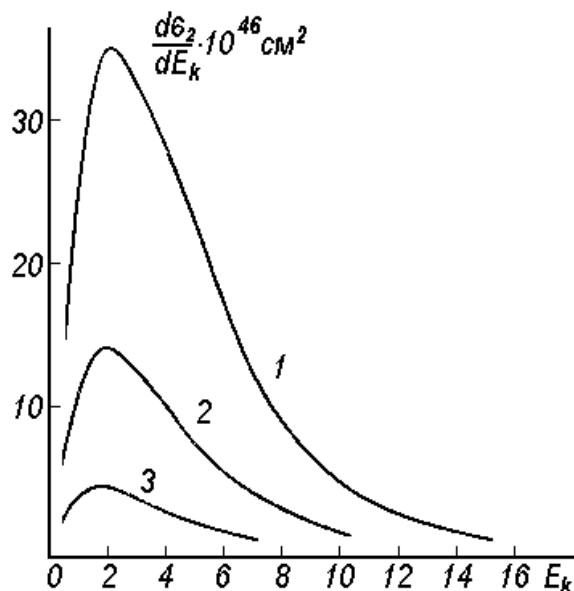


Рис. 2

Рис. 1. Дифференциальное сечение $d\sigma_1/dE_k$ в зависимости от E_k при различных значениях E_0 (E_k и E_0 – в единицах m_e): 1 – $E_0 = 25$; 2 – 20; 3 – 15; 4 – 10; 5 – 5.

Рис. 2. То же для $d\sigma_2/dE_k$.

Естественно предположить, что $\lambda = G_A/G_V$ такое же, как в β -распаде. Графики дифференциального сечения $d\sigma_1/dE_k$ для E_0 , равного 5; 10; 15; 20; 25 m_e , рассчитанные при этих предположениях, приведены на рис. 1. Полное сечение $\sigma_1(E)_0$ дано в таблице 1.

Т а б л и ц а 1
Зависимость сечения σ_1 от полной энергии реакции E_0

E_0/m_e	$\sigma_1 \cdot 10^{44}$ $см^2$	E_0/m_e	$\sigma_1 \cdot 10^{44}$ $см^2$	E_0/m_e	$\sigma_1 \cdot 10^{44}$ $см^2$
1	0,089	11	43,3	21	189
2	0,607	12	53,0	22	209
3	1,78	13	63,7	23	230
4	3,71	14	75,5	24	254
5	6,49	15	88,6	25	278
6	10,2	16	102	26	302
7	14,8	17	118	27	329
8	20,5	18	134	28	356
9	27,1	19	151	29	384
10	34,7	20	170	30	414

Т а б л и ц а 2
Зависимость сечения σ_2 от полной энергии реакции E_0

E_0/m_e	$\sigma_2 \cdot 10^{44}$ $см^2$	E_0/m_e	$\sigma_2 \cdot 10^{44}$ $см^2$	E_0/m_e	$\sigma_2 \cdot 10^{44}$ $см^2$
-----------	------------------------------------	-----------	------------------------------------	-----------	------------------------------------

1	$7 \cdot 10^{-5}$	11	4,10	21	91,1
2	$1,1 \cdot 10^{-3}$	12	7,02	22	112
3	0,011	13	10,2	23	137
4	0,0421	14	14,3	24	167
5	0,119	15	19,6	25	200
6	0,279	16	26,4	26	238
7	0,574	17	34,8	27	283
8	1,07	18	45,2	28	333
9	1,85	19	57,8	29	389
10	3,02	20	73,0	30	453

В области энергий $E_0 \gg 1$ сечение σ_1 может быть связано с сечением σ_β процесса $\nu + d \rightarrow 2n + e^+$ [9] формулой

$$\sigma_1 \approx 1/2(\lambda_1 - \lambda_2)^2 \sigma_\beta.$$

В рассмотренном приближении сечение максимально при $\lambda_1 = -\lambda_2$ [2] и обращается в нуль при $\lambda_1 = \lambda_2$. В последнем случае необходимо рассматривать запрещенный переход ${}^3S_1 \rightarrow {}^1P_1$, сечение которого содержит множитель $\lambda_1 + \lambda_2$. Тогда, пренебрегая взаимодействием в конечном состоянии, получим

$$d\sigma = (\lambda_1 + \lambda_2)^2 d\sigma_2,$$

$$d\sigma_2 = G_V^2 \lambda^2 \frac{2}{\pi^2} \lambda_e^2 \frac{1}{3M} \frac{\sqrt{E_d}}{1 - \sqrt{E_d M r_T}} \frac{(E_0 - E_k)^2 E_k^{3/2}}{(E_d + E_k)^2} \times \\ \times \left[(E_0 + E_d)^2 + (E_0 - E_k)^2 + \frac{2}{9} (E_0 + E_d)(E_0 - E_k) \right] dE_k.$$

Графики дифференциального сечения $d\sigma_2/dE_k$ для E_0 , равного 15; 20; и 25 m_e , приведены на рис. 2. Значения полного сечения $\sigma_2(E_0)$ даны в табл. 2. Для $E_0 = 25$ сечение σ_2 составляет 2% от σ_1 . При заданной константе G сечения σ_1 и σ_2 дают верхний и нижний пределы возможных сечений неупругого рассеяния нейтрино на дейтроне.

Авторы искренне благодарны И.С. Шапиро за внимание к работе и ценные советы. Один из авторов (Ю.Г.) благодарен сотрудникам ИАЭ им. И.В. Курчатова Л.А. Микаэлян, В.Г. Ваксу и А.И. Ларкину за интересные дискуссии.

Поступило в редакцию
30 апреля 1964 г.

Литература

- [1] S. Bludman. *Nuovo Cim.*, **9**, 433, 1958.
- [2] Я.Б. Зельдович. *ЖЭТФ*, **36**, 964, 1959.
- [3] В.Н. Байер, И.Б. Хриплович. *ЖЭТФ*, **39**, 1374, 1960.
- [4] С.С. Герштейн, Нгуен Ван Хьеу, Р.А. Эрамжян. *ЖЭТФ*, **43**, 1554, 1962.
- [5] Б.М. Понтекорво. Препринт ОИЯИ, Е-980, 1962.
- [6] Материалы конференции в г. Сиенне, Италия, октябрь, 1963.
- [7] F. Reines, S.L. Cowan. *Phys. Rev.*, **107**, 1609, 1957.
- [8] Л.А. Микаэлян, П.Е. Спивак. Доклад на конференции в г. Дубне, январь, 1964.
- [9] А.В. Говорков. *ЖЭТФ*, **30**, 974, 1956. I. Weneser. *Phys. Rev.*, **105**, 1335, 1957.

Трехфлейворная паулиевская модель майорановских нейтрино и проблема нейтринных масс.

Ю. В. Гапонов

Доклады Академии Наук, т. 423, № 5, стр. 621- 626 (2008)

Представлено академиком Е. П. Велиховым 30.06.2008 г.
Поступило 11.07.2008 г.

Определение нейтринных масс – одна из центральных задач современной физики частиц. Предполагается, что ее решение будет найдено при дальнейшем развитии теории майорановских нейтрино, поскольку существующие феноменологические схемы не указывают путь для нахождения нейтринных масс. Однако автором в работах [1-4] был развит новый подход к описанию майорановских свойств нейтральных частиц на базе паулиевских преобразований (преобразования Паули - Перси) [5, 6], в котором такой путь намечается. Особенностью паулиевских моделей является введение универсальных квантовых характеристик, описывающих как майорановские, так и дираковские (квазидираковские) состояния нейтральных частиц, задаваемые либо нейтринными флейворными зарядами (электронным, мюонным, тауонным), либо лептонными зарядами типа Зельдовича - Конопинского - Махмуда (ЗКМ) [7, 8], причем нейтринная система описывается либо первыми, либо вторыми, но не обоими одновременно.

Согласно [3, 4] базовое флейворное представление паулиевской модели совпадает с "массовым" представлением феноменологических схем, а паулиевские преобразования – с унитарными преобразованиями, используемыми в них для перехода от "массового" представления к "флейворному", связываемому с физическими нейтрино, рождаемыми в паре с заряженными лептонами этого флейвора. В этом пункте паулиевские модели аналогичны феноменологическим схемам. Вместе с тем они включают новые моменты, идущие от новых нейтринных характеристик: нейтринного (майорановского) флейвора и лептонного ЗКМ - заряда. При паулиевских преобразованиях базовые операторы, задающие эти характеристики, переходят в обобщенную форму со своими собственными функциями и квантовыми числами, так что феноменологический переход от "массового" представления к "флейворному" интерпретируется в паулиевской модели как преобразование универсального оператора нейтринного флейвора из базовой формы в обобщенную. Тот факт, что наблюдаемые физические нейтрино являются линейными суперпозициями "массовых" состояний, оказывается следствием того, что физические нейтрино – собственные

функции оператора нейтринного флейвора в обобщенной форме – описываются в терминах "чужих" собственных функций того же оператора в его базовой форме. При этом в любом представлении паулиевской модели одновременно могут быть построены операторы как обобщенного нейтринного флейворного заряда, так и обобщенного лептонного заряда. Тем самым устанавливается связь между описаниями нейтринной системы в терминах квантовых чисел нейтринного флейвора и обобщенного лептонного ЗКМ-заряда, причем наблюдаемые, физические нейтрино оказываются связанными с последним.

Представленная работа развивает этот подход. В [1, 2] проанализирован случай одной частицы, имеющей как левые, так и правые состояния общего флейвора. В [3, 4] новый подход был распространен на двухфлейворную систему и использован для описания нейтринных осцилляций. В настоящей работе развивается трехфлейворная модель нейтринной системы, учитывающая как паулиевское $\nu_e - \nu_\mu$ и $\nu_\tau - \nu_\mu$ смешивание частичных состояний с античастичными, так и стандартное $\nu_e - \nu_\tau$ смешивание. Показано, что в такой модели в специальном представлении, в котором существует ЗКМ-лептонный заряд паулиевского типа, а варьируемая часть лагранжиана нейтринной системы имеет квазидираковскую форму, возникают соотношения, связывающие майорановские нейтринные массы и углы нейтринного смешивания. Используя эти соотношения и экспериментальные данные по характеристикам нейтринных осцилляций, можно получить оценки майорановских масс нейтрино разного флейвора, а также дополнительные ограничения на углы смешивания.

Построим трехфлейворную нейтринную паулиевскую модель так, чтобы в переходе к двухфлейворной возникла схема [3, 4]. В трехфлейворной схеме с двухфлейворными подсистемами ЗКМ-типа из трех левых (L) нейтринных состояний максимум два могут быть частичными при одном античастичном. Предположим, что левое мюонное нейтрино – античастица, а правое – частица [3, 4]. Рассмотрим базовое нейтринное флейворное (массовое) представление, описывающее несмешивающиеся нейтринные состояния функцией $\Phi_0(x)$, включающей майорановские комбинации нейтринных функций. В предположении о сохранении CP - четности:

$$\Phi_0(x) = \begin{pmatrix} \nu_{0e}(x) \\ \nu_{0\mu}(x) \\ \nu_{0\tau}(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nu_1(x) \\ \nu_2(x) \\ \nu_3(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nu_{1L}(x) + \eta \nu_{1R}^C(x) \\ \nu_{2R}(x) + \eta \nu_{2L}^C(x) \\ \nu_{3L}(x) + \eta \nu_{3R}^C(x) \end{pmatrix} \quad (1)$$

($\eta = \pm 1$ – зарядовая четность). Для описания собственных состояний такого представления используем пару коммутирующих операторов, задающих на SU(3) - группе флейворные характеристики – флейворный нейтринный

гиперзаряд \hat{Y}_0^F и флейворный нейтринный изоспин \hat{T}_z^F :

$$\frac{\hat{Y}_0^F}{2} = -\frac{1}{2} \lambda_8 \sqrt{3}, \quad \hat{T}_z^F = \frac{1}{2} \lambda_3 \quad (2)$$

(λ_i – матрицы Гелл-Манна - Окубо). Базовые майорановские электронное, мюонное и тауонное нейтрино имеют в этом представлении квантовые числа $(T_z^F, Y_0^F/2)$:

$$\nu_1 = \nu_{0e}(+1/2, -1/2), \quad \nu_2 = \nu_{0\mu}(-1/2, -1/2), \quad \nu_3 = \nu_{0\tau}(0, +1), \quad (3)$$

так что два первых образуют в нем дублет, а последнее – синглет по изоспину T_z^F (флейворные характеристики частичных и античастичных состояний совпадают).

Отсутствие смешивания флейворных состояний в базовом флейворном представлении означает, что оператор массы \hat{M} диагонален и в терминах операторов (2) имеет форму:

$$\begin{aligned} \hat{M} &= \hat{m}_0 + \hat{m} = \text{diag}(M_{\nu_e}, M_{\nu_\mu}, M_{\nu_\tau}) = m_0 \hat{I} + \text{diag}(m_{\nu_e}, m_{\nu_\mu}, m_{\nu_\tau}) \\ &= \hat{m}_0 + m_{\nu_\tau} \hat{Y}_0^F / 2 + (2m_{\nu_e} + m_{\nu_\tau}) \hat{T}_z^F = m_0 \hat{I} - m_{\nu_\tau} \lambda_8 \sqrt{3} / 2 + (2m_{\nu_e} + m_{\nu_\tau}) \lambda_3 / 2, \\ M_{\nu_e} &= m_{\nu_e} + m_0, \quad M_{\nu_\mu} = m_{\nu_\mu} + m_0, \quad M_{\nu_\tau} = m_{\nu_\tau} + m_0, \quad m_{\nu_\mu} = -m_{\nu_e} - m_{\nu_\tau}, \end{aligned} \quad (4)$$

включающую слагаемое \hat{m}_0 , инвариантное к паулиевским преобразованиям, и \hat{m} , явный вид которого зависит от представления. Базовые функции определенного флейвора (3) являются одновременно собственными функциями этого оператора, так что базовое флейворное представление совпадает с "массовым" представлением феноменологических моделей. Лагранжиан и уравнения для волновых функций трехфлейворной нейтринной системы в базовом флейворном (массовом) представлении имеют вид

$$\begin{aligned} L_M(x) &= L_0(x) - \frac{m_0}{2} [\bar{\nu}_1(x) \nu_1(x) + \bar{\nu}_2(x) \nu_2(x) + \bar{\nu}_3(x) \nu_3(x)] \\ &\quad - \frac{1}{2} [m_{\nu_e} \bar{\nu}_1(x) \nu_1(x) + m_{\nu_\mu} \bar{\nu}_2(x) \nu_2(x) + m_{\nu_\tau} \bar{\nu}_3(x) \nu_3(x)], \\ \gamma_\mu \partial_\mu \nu_1(x) + M_{\nu_e} \nu_1(x) &= 0, \\ \gamma_\mu \partial_\mu \nu_2(x) + M_{\nu_\mu} \nu_2(x) &= 0, \\ \gamma_\mu \partial_\mu \nu_3(x) + M_{\nu_\tau} \nu_3(x) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Величины M_{ν_i} – майорановские массы, при $M_{\nu_i} < 0$ знак этой массы можно изменить заменой $\nu_i(x) \rightarrow \gamma_5 \nu_i(x)$ или иным методом [12]. При $m_{\nu_\tau} = 0$, $m_{\nu_\mu} = -m_{\nu_e} = M$ возникает двухфлейворная схема для $\nu_e - \nu_\mu$ системы [3, 4], при $m_{\nu_e} = 0$, $m_{\nu_\mu} = -m_{\nu_\tau} = -M$ аналогичная $\nu_\tau - \nu_\mu$ схема. Вместе с тем в паулиевской схеме существует обобщенный лептонный

заряд, оператор \hat{Q} которого эрмитов, не содержит слагаемых, коммутирующих с массовым оператором \hat{M} , и в базовом флейворном представлении, где массовый оператор диагонален, описывается матрицей с нулями на главной диагонали. При CP - сохранении она действительна и в терминах λ_i - матриц имеет общий вид

$$\hat{Q} = (Q(v_e v_\mu)\lambda_1 + Q(v_e v_\tau)\lambda_4 + Q(v_\mu v_\tau)\lambda_6)\gamma_5. \quad (6)$$

Используя результаты двухфлейворной модели [3, 4], введем паулиевские преобразования $v_e - v_\mu$ и $v_\tau - v_\mu$ - типа и стандартное $v_e - v_\tau$ - преобразование при условии CP - сохранения:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} v_e(x) \\ v_\mu(x) \end{pmatrix} &= U(12) \begin{pmatrix} v_{0e}(x) \\ v_{0\mu}(x) \end{pmatrix} = \exp[+i\hat{\kappa}_y \theta_{mix,12}] \begin{pmatrix} v_{0e}(x) \\ v_{0\mu}(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} \\ -s_{12} & c_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{0e}(x) \\ v_{0\mu}(x) \end{pmatrix}, \\ c_{12} &= \cos \theta_{mix,12}, \quad s_{12} = \sin \theta_{mix,12}, \\ \begin{pmatrix} v_\mu(x) \\ v_\tau(x) \end{pmatrix} &= U(23) \begin{pmatrix} v_{0\mu}(x) \\ v_{0\tau}(x) \end{pmatrix} = \exp[+i\hat{\kappa}_y \theta_{mix,23}] \begin{pmatrix} v_{0\mu}(x) \\ v_{0\tau}(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{23} & s_{23} \\ -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{0\mu}(x) \\ v_{0\tau}(x) \end{pmatrix}, \\ c_{23} &= \cos \theta_{mix,23}, \quad s_{23} = \sin \theta_{mix,23}, \\ \begin{pmatrix} v_e(x) \\ v_\tau(x) \end{pmatrix} &= U(13) \begin{pmatrix} v_{0e}(x) \\ v_{0\tau}(x) \end{pmatrix} = \exp[+i\hat{\kappa}_y \theta_{mix,13}] \begin{pmatrix} v_{0e}(x) \\ v_{0\tau}(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{13} & s_{13} \\ -s_{13} & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{0e}(x) \\ v_{0\tau}(x) \end{pmatrix}, \\ c_{13} &= \cos \theta_{mix,13}, \quad s_{13} = \sin \theta_{mix,13}. \end{aligned} \quad (7)$$

В трехфлейворном случае они принадлежат к общей группе и произведение $U(23)U(13)U(12)$ совпадает с U_{PMNS} матрицей Понтекорво - Маки - Накагавы - Сакаты [9 - 12] :

$$U_{PMNS} = \begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ U_{31} & U_{32} & U_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{13}s_{23} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{13}s_{23} & c_{13}s_{23} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}s_{13}c_{23} & -c_{12}s_{23} - s_{12}s_{13}c_{23} & c_{13}c_{23} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Стартуя от флейворного базового представления, можно с ее помощью построить операторы \hat{m} и \hat{Q} в произвольном представлении. В двухфлейворной схеме [3, 4] аналоги этих операторов были взаимно ортогональными векторами паулиевского изопространства, явная форма которых зависела от конкретного представления. Теперь их структура обобщается – они описывают определенное представление $SU(3)$ - группы или её подгруппы. При этом \hat{m} в произвольном представлении включает операторы обобщенного флейворного изоспина \hat{T}^F и обобщенного флейворного гиперзаряда $\hat{Y}^F/2$, в которые после паулиевского преобразования переходят операторы \hat{T}_z^F и $\hat{Y}_0^F/2$ (2).

Выберем среди возможных представлений массового оператора такое, где зависящее от представления слагаемое \hat{m} описывается матрицей с

нулями на главной диагонали, а оператор обобщенного лептонного заряда \hat{Q} - диагональной. Очевидно, что оно непосредственно связано с базовым представлением зарядового типа, квантовые числа которого задаются операторами, обобщающими в трехфлейворном случае операторы лептонного заряда и киральности [3, 4]. Если для волновой функции базового представления зарядового типа предполагать форму аналогичную (1), то операторы этого представления, задающие в нем нейтринные характеристики – паулиевский гиперзаряд \hat{Y}_0^P (переходящий в двухфлейворном пределе в обратный киральный заряд $-\gamma_5$) и паулиевский изоспин $\hat{T}_z^P = Q_z^P / 2$ – диагональны и имеют вид:

$$\frac{\hat{Y}_0^P}{2} = \frac{1}{4}(\lambda_8 \sqrt{3} + 3\lambda_3)\gamma_5, \quad \hat{T}_z^P = \frac{1}{4}(\lambda_3 - \sqrt{3}\lambda_8)\gamma_5. \quad (9)$$

Предположим, что физические нейтрино описываются этим представлением и имеют квантовые характеристики. Тогда из уравнений на собственные функции следует, что они имеют следующие квантовые числа паулиевского изоспина и гиперзаряда ($T_z^P, Y_0^P / 2$):

$$\begin{aligned} & \nu_{eL}(0, +1), \nu_{eR}^C(0, -1), \nu_{\mu R}(+1/2, +1/2), \\ & \nu_{\mu L}^C(-1/2, -1/2), \nu_{\tau L}(+1/2, -1/2), \nu_{\tau R}^C(-1/2, +1/2). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь состояния электронного нейтрино – синглетные, в то время как левые нейтринные состояния – тауонное частичное и мюонное античастичное (как и соответствующие правые) - образуют дублет по паулиевскому изоспину T_z^P с гиперзарядом $Y_0^P / 2$ [3, 4].

Учитывая, что преобразование U_{PMNS} обращает в нуль диагональные члены преобразованной массовой матрицы \hat{m} , получаем:

$$\begin{aligned} U_{11}^2 m_{\nu_e} + U_{12}^2 m_{\nu_\mu} + U_{13}^2 m_{\nu_\tau} &= 0, \quad U_{21}^2 m_{\nu_e} + U_{22}^2 m_{\nu_\mu} + U_{23}^2 m_{\nu_\tau} = 0, \\ U_{31}^2 m_{\nu_e} + U_{32}^2 m_{\nu_\mu} + U_{33}^2 m_{\nu_\tau} &= 0, \quad m_{\nu_e} + m_{\nu_\mu} + m_{\nu_\tau} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Эти соотношения выполняются при условиях:

$$\begin{aligned} (2m_{\nu_e} + m_{\nu_\tau}) \cos 2\theta_{mix,12} &= m_{\nu_\tau} (1 - 2s_{13}^2 / c_{13}^2), \\ (c_{12}^2 - s_{12}^2)(c_{23}^2 - s_{23}^2)(c_{13}^2 - s_{13}^2) &= 2c_{12}s_{12}c_{23}s_{23}s_{13}(c_{13}^2 - 2s_{13}^2). \end{aligned} \quad (12)$$

В частности при $\theta_{mix,13} = 0$ фиксируется угол $\nu_\mu - \nu_\tau$ смешивания $\theta_{mix,23} = \pm\pi / 4$. Слагаемое \hat{m} лагранжиана нейтринной системы (5) после U_{PMNS} - преобразования не содержит слагаемых майорановского типа - приобретает "квасидираковскую" форму:

$$\begin{aligned}
L(x) = & L_0(x) - \frac{m_0}{2} [\bar{\nu}_e(x)\nu_e(x) + \bar{\nu}_\mu(x)\nu_\mu(x) + \bar{\nu}_\tau(x)\nu_\tau(x)] \\
& - \frac{1}{2} \{ -(2m_{\nu_e} + m_{\nu_\tau})s_{12}c_{12}[c_{13}\bar{\nu}_e(x)(c_{23}\nu_\mu(x) - s_{23}\nu_\tau(x)) - s_{13}(c_{23}^2 - s_{23}^2)\bar{\nu}_\mu(x)\nu_\tau(x)] \\
& + m_{\nu_\tau}[s_{13}/c_{13}\bar{\nu}_e(x)(s_{23}\nu_\mu(x) + c_{23}\nu_\tau(x)) + 2s_{23}c_{23}(1 - s_{13}^2/c_{13}^2)\bar{\nu}_\mu(x)\nu_\tau(x)] + h.c. \}. \quad (13)
\end{aligned}$$

Матрица оператора обобщенного лептонного заряда \hat{Q} получает в этом случае диагональную форму, а ее недиагональные элементы обращаются в нуль:

$$\begin{aligned}
& (U_{11}U_{22} + U_{12}U_{21})Q(\nu_e\nu_\mu) + (U_{11}U_{23} + U_{13}U_{21})Q(\nu_e\nu_\tau) \\
& \quad + (U_{12}U_{23} + U_{13}U_{22})Q(\nu_\mu\nu_\tau) = 0, \\
& (U_{11}U_{32} + U_{12}U_{31})Q(\nu_e\nu_\mu) + (U_{11}U_{33} + U_{13}U_{31})Q(\nu_e\nu_\tau) \\
& \quad + (U_{12}U_{33} + U_{13}U_{32})Q(\nu_\mu\nu_\tau) = 0, \\
& (U_{21}U_{32} + U_{22}U_{31})Q(\nu_e\nu_\mu) + (U_{21}U_{32} + U_{23}U_{31})Q(\nu_e\nu_\tau) \\
& \quad + (U_{23}U_{32} + U_{22}U_{33})Q(\nu_\mu\nu_\tau) = 0. \quad (14)
\end{aligned}$$

В результате возникают следующие условия на величины $Q(\nu_i\nu_j)$, согласующиеся с (12):

$$\begin{aligned}
& (c_{12}Q(\nu_e\nu_\tau) + s_{12}Q(\nu_\mu\nu_\tau))(c_{13}^2 - s_{13}^2) = 2Q(\nu_e\nu_\mu)s_{12}c_{12}s_{13}c_{13}, \\
& (s_{12}Q(\nu_e\nu_\tau) - c_{12}Q(\nu_\mu\nu_\tau))s_{13} = Q(\nu_e\nu_\mu)(c_{12}^2 - s_{12}^2)c_{13}, \\
& (c_{12}^2 - s_{12}^2)(c_{23}^2 - s_{23}^2)(c_{13}^2 - s_{13}^2) = 2c_{12}s_{12}c_{23}s_{23}s_{13}(c_{13}^2 - 2s_{13}^2). \quad (15)
\end{aligned}$$

При этом оператор обобщенного лептонного заряда приобретает форму

$$\hat{Q} = Q_0 [\hat{T}_z^P + \frac{\cos 2\theta_{mix,23}}{1-2s_{13}^2/c_{13}^2} \hat{Y}_0^P / 2], \quad Q_0 = Q(\nu_e\nu_\tau) \cos 2\theta_{mix,12} / s_{13}s_{23}c_{23}, \quad (16)$$

(Q_0 - нормировочный фактор). При $s_{13} = 0$ $Q(\nu_e\nu_\tau) = 0$ и обобщенный лептонный заряд пропорционален паулиевскому изоспину (9), равному половинному лептонному ЗКМ - заряду нейтрино [3, 4].

Майорановские массы нейтрино в уравнениях (5) с учетом (12) получают вид

$$\begin{aligned}
M_{\nu_e} = & m_0 + \frac{M}{2} \left(1 - \frac{\cos 2\theta_{mix,12}}{1-2s_{13}^2/c_{13}^2} \right), \quad M_{\nu_\mu} = m_0 - \frac{M}{2} \left(1 + \frac{\cos 2\theta_{mix,12}}{1-2s_{13}^2/c_{13}^2} \right), \\
M_{\nu_\tau} = & m_0 + M \frac{\cos 2\theta_{mix,12}}{1-2s_{13}^2/c_{13}^2}. \quad (17)
\end{aligned}$$

Оценим эти нейтринные массы, опираясь на данные по характеристикам нейтринных осцилляций, описываемым интервалами допустимых значений (90% *C.L.*) [13- 14]:

$$\begin{aligned}
32.45^\circ < \theta_{mix,12} < 35.32^\circ, \quad 36.47^\circ < \theta_{mix,23} < 45^\circ, \quad 0^\circ < \theta_{mix,13} < 6.46^\circ, \\
\Delta m_{21}^2 = & (69 \div 81) \text{ мЭВ}^2, \quad |\Delta m_{32}^2| = (19 \div 30) \cdot 10^2 \text{ мЭВ}^2 \quad (18)
\end{aligned}$$

($\Delta m_{21}^2 > 0$, знак Δm_{32}^2 не определен). Введем малые параметры $\delta_0 = c_{12}^2 - 2/3 = 1/3 - s_{12}^2$ и $\Delta = m_0 / M - 1/6$ и, учитывая $s_{13}^2 / c_{13}^2 \ll 1$, выразим массы (17) через массовый масштаб M и величины δ и $1 - \Delta / \delta$, определяемые экспериментальными характеристиками (18):

$$\begin{aligned} M_{\nu_e} &= M(\frac{1}{2} + \Delta - \delta), \quad M_{\nu_\mu} = M(-\frac{1}{2} + \Delta - \delta), \quad M_{\nu_\tau} = M(\frac{1}{2} + \Delta + 2\delta), \\ m_0 &= M(\frac{1}{6} + \Delta), \quad M^2 \approx \Delta m_{21}^2 / 2\delta(1 - \Delta / \delta), \quad \delta = \delta_0 + s_{13}^2 \cos 2\theta_{mix,12} / c_{13}^2, \\ 1 - \Delta / \delta &\approx 3\Delta m_{21}^2(1 + 3\delta) / 2\Delta m_{32}^2(1 + \Delta m_{21}^2(1 + 3\delta) / \Delta m_{32}^2). \end{aligned} \quad (19)$$

Абсолютные значения нейтринных масс задаются массовым масштабом M , который кардинальным образом зависит от малого δ , при этом основной проблемой является особая точка $\delta = 0$, где $M \rightarrow \infty$. В частности, при $s_{13} = 0$ ($s_{23}^2 = c_{23}^2 = 1/2$) ей отвечает $\theta_{mix,12} = 35.2644^\circ$, лежащее внутри интервала (m18) для $\theta_{mix,12}$. Однако, при $s_{13} \neq 0$, ($s_{23}^2 \neq c_{23}^2$) существует область значений $\theta_{mix,13}$, где для всех $\theta_{mix,12}$ из (18) параметр $\delta > 0$ и величина M может быть определена из соотношения $M\sqrt{\delta} \approx C(\theta_{mix,12}, \theta_{mix,13})$ с достаточно стабильным C . Детальный анализ, учитывающий связь между углами смешивания, следующую из (12) и (15), показывает, что условие $\delta > 0$ выполняется, когда $\theta_{mix,23}$ и $\theta_{mix,13}$ согласованно меняются в интервалах (90 % C.L.):

$$40.51^\circ < \theta_{mix,23} < 43.40^\circ, \quad (\bar{\theta}_{23} = 41.96^\circ), \quad 6.46^\circ > \theta_{mix,13} > 3.01^\circ, \quad (\bar{\theta}_{13} = 5.03^\circ). \quad (20)$$

($\bar{\theta}$ - их согласованные средние, интервал $\theta_{mix,12}$ соответствует (19) с $\bar{\theta}_{12} = 34.88^\circ$). При этом возникают дополнительные ограничения на углы $\theta_{mix,23}$ и $\theta_{mix,13}$, исключаяющие, в частности их граничные значения 45° и 0° , соответственно. В терминах δ , C , и $1 - \Delta / \delta$ майорановские нейтринные массы (17) описываются суммами трех слагаемых:

$$\begin{aligned} M_{\nu_e} &= \frac{M}{2} - \Delta M_2, \quad M_{\nu_\mu} = -\frac{M}{2} - \Delta M_2, \quad M_{\nu_\tau} = \frac{M}{2} + 3\Delta M_1 - \Delta M_2, \\ m_0 &= \frac{M}{6} + \Delta M_1 - \Delta M_2, \quad M = C / \sqrt{\delta}, \quad \Delta M_1 = C\sqrt{\delta}, \quad \Delta M_2 = C\sqrt{\delta}(1 - \Delta / \delta), \end{aligned} \quad (21)$$

причем слагаемое $M/2$ задает главный вклад в массы, $3\Delta M_1$ фиксирует осцилляционный параметр Δm_{32}^2 , а ΔM_2 – осцилляционный параметр Δm_{21}^2 . Численные значения этих слагаемых можно оценить, вводя $\bar{\delta}$, усредненное по углам $\theta_{mix,13}$ из (20), $\bar{\delta} = \delta(\theta_{mix,12}, \bar{\theta}_{13})$ и варьируя $\theta_{mix,12}$, Δm_{12}^2 и Δm_{23}^2 в пределах, допустимых (18). Используя (11), легко показать, что масса $m_{\beta\beta}$, определяющая времена жизни безнейтринного двойного бета - распада ядер, совпадает с массой m_0 , инвариантной к паулиевским

преобразованием, и составляет около 1/6 массового масштаба M . Расчет дает следующие допустимые (90% C.L.) интервалы параметров (21), определяющих нейтринные массы:

$$0.041 < \sqrt{\delta} < 0.22, \quad (\sqrt{\bar{\delta}} = 0.16), \quad 31.9 \text{ мэВ} > C > 24.1 \text{ мэВ} \quad (\bar{C} = 28 \text{ мэВ}),$$

$$390 \text{ мэВ} > M / 2 > 55 \text{ мэВ}, \quad 130 \text{ мэВ} > M / 6 \approx m_0 = m_{\beta\beta} > 18 \text{ мэВ}, \quad (22)$$

$$\Delta M_1 = (1.3 \div 5.2) \text{ мэВ}, \quad \Delta M_2 = (0.05 \div 0.37) \text{ мэВ}.$$

Абсолютные значения нейтринных масс отвечают нормальной иерархии, однако, масса мюонных нейтрино в паулиевском подходе отрицательна. Этот факт показывает, что CP – четность мюонных нейтрино отличается знаком от CP – четности остальных (см. комментарии к (5)).

Автор выражает искреннюю благодарность Е.П. Велихову за постоянный интерес и поддержку, а также С.М. Биленькому, Г.В.Домогацкому, Д.И. Казакову, Ю.В. Линде, В.А. Рубакову и В.В. Хрущеву за полезные дискуссии. Он благодарен Институту Нильса Бора, Архиву Нильса Бора и НОРДИТА (Копенгаген, Дания), в особенности О. Бору, Ф. Азеруду и П.Х. Дамгарду за поддержку его визита 2007 г. в Данию, в период которого сформировались основные положения настоящей работы.

Работа поддержана грантом N 33 РНЦ "Курчатовский институт" по фундаментальным исследованиям 2008 – 2009 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гапонов Ю.В. // ДАН. 2004. Т. 399. № 3. С. 334-338.
2. Гапонов Ю.В. // ЯФ. 2006. Т. 69. № 4. С. 683-702.
3. Гапонов Ю.В. // ДАН. 2006. Т. 410. № 5. С. 612-617.
4. Gaponov Yu.V. // arXiv: 0709/0842, 2007, P. 1-35.
5. Pauli W. // Nuovo Cim. 1957. V. 6. No 1. P. 204-215.
6. Pursey W. // Nuovo Cim. 1957. V. 6. No 2. P. 266-276.
7. Зельдович Я.Б. // ДАН СССР. 1952. Т. 86. С. 505-508.
8. Konopinsky E.J., Mahmoud M. // Phys. Rev. 1953. V. 92. P.1045-1049.
9. Биленький С.М., Понтекорво Б.М. // УФН. 1977. Т.123. В.2. С. 181-215.
10. Боум Ф., Фогель П. Физика массивных нейтрино. М: Мир,1990, 303с.
11. Комминс Ю., Буксбаум Ф. Слабые взаимодействия лептонов и кварков. М.: Энергоатомиздат. 1987. 438 с.
12. Bilenky S, Giunti C., Grimus W. Prog.Part. Nucl.Phys. 1999. V.43. P.1-86.
13. Yao W.-M., Amsler C., Asner D. et al. (Part. Data Group) // J.Phys. 2006. V.G33. P.1.
14. Bandyopadhyay A., Chonbey S., Goswami S. et al. // arXiv: 0804/4857, 2008, P.1- 14.

Гигантский Гамов-Теллеровский резонанс в нейтронно-избыточных ядрах

Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский

Ядерная физика, том 73, стр. 1403-1417 (2010)

Светлой памяти И. С. Шапиро посвящается.

Представлено описание гигантского гамов-теллеровского резонанса и других ветвей коллективных возбуждений ядер в рамках теории конечных ферми-систем, доказана связь ГТР с вигнеровской $SU(4)$ симметрией, дано описание силовой функции β -распада и процессов, сопровождающих β -распад ядер с большим избытком нейтронов. Анализируется влияние сателлитов ГТР на характеристики распадов нейтронно-избыточных ядер.

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование гигантских резонансов – высоковозбужденных состояний ядер высокой степени коллективности – представляет большой интерес для физики ядра. Наряду с хорошо изученным гигантским дипольным $E1$ -резонансом, открытым еще в середине 1940-х годов [1, 2], к настоящему времени открыты и активно изучаются резонансы электрического типа – монополюсный, квадрупольный и ряд других, а также резонансы магнитного типа (см. [3, 4]). Все эти состояния связаны с нейтральной (по заряду) ветвью коллективных возбуждений ядер и дают важную информацию о структуре ядер и свойствах ядерной материи. Наряду с нейтральной, известны и заряженные ветви возбуждений ядер, такие как аналоговый (АР) – изоспиновый резонанс и гигантский гамов-теллеровский резонанс (ГТР) – коллективное состояние спин-изоспинового типа.

Если нейтральная ветвь возбуждений ядра $A(N,Z)$ отвечает состояниям того же ядра и проявляется, прежде всего, в γ -переходах и реакциях неупругого рассеяния лептонов и нуклонов, идущих без изменения заряда ядра, то заряженные ветви коллективных возбуждений с зарядами частично-дырочной пары $\Delta Q = \pm 1$ отвечают возбужденным состояниям ядер-изобар $A(N-\Delta Q, Z+\Delta Q)$ и проявляются в соответствующих реакциях перезарядки, например (ν, e) , (p, n) , (n, p) , $({}^3\text{He}, T)$, $(T, {}^3\text{He})$, $({}^6\text{Li}, {}^6\text{He})$ и др., или в β -переходах ядер. Состояния, характерные для заряженных ветвей возбуждения, называют изобарическими состояниями ядер.

Идея о возможном существовании спин-изоспинового резонанса впервые обсуждалась в работах японских физиков Е. Икеды, С. Фуджи и И.И. Фуджиты в середине 1960-х годов [5–7] в связи с попыткой дать объяснения эффекту подавленности, наблюдавшемуся в гамов-теллеровских (ГТ) β -переходах ядер. Они предположили, что в энергетическом интервале между аналоговым резонансом (АР) и основным

состоянием ядра – изобары существует коллективное состояние, которое будет проявляться в реакциях перезарядки и должно вбирать в себя основную часть силы ГТ β -переходов. Позже это состояние получило название гамов-теллеровского резонанса (ГТР) по аналогии с аналоговым резонансом, вбирающим в себя основную часть силы фермиевских β -переходов. Однако, как позже стало ясно, состояние, связанное с частично-дырочными переходами без изменения их квантовых чисел ($\Delta j = 0$), с которым авторы связывали свою гипотезу, не является наиболее коллективным из состояний спин-изоспиновой заряженной ветви ядерных возбуждений. Более того, многие известные физики, работавшие в те годы в теории ядра, сомневались в самой возможности существования ГТР, полагая, что в эксперименте он наблюдаться не будет вследствие сильного уширения за счет взаимодействия с многочастичными компаунд-состояниями ядер. Например, известный японский физик А. Арима в своих воспоминаниях писал о том времени ([8] стр. 265): *”At that time Ikeda was my research associate, and we had many hot debates on this subject. I, however, doubted that this state could ever be observed as sharp peaks in heavy nuclei because the strong spin-orbit interaction spreads the GT state into a wide energy range.”* Т.е. сомнения состояли в том, что ГТР должен настолько ушириться за счет сильного спин-орбитального взаимодействия, что экспериментально наблюдаться он не будет.

Первыми работами, в которых был корректно проведен учет спин-орбитального расщепления, выяснен механизм коллективизации частично-дырочных состояний спин-изоспинового типа и впервые проведены расчеты энергий и матричных элементов ГТР в широком круге нейтронно-избыточных ядер, были работы авторов начала 1970-х годов, выполненные в ИАЭ им. И.В. Курчатова [9–11] (см. обзор [12]). Теоретические исследования проводились в рамках теории конечных ферми-систем А.Б. Мигдала [13]. Расчеты были проведены для более чем 70-ти ядер в области от $A = 72$ до $A = 140$, что позволило выявить основные закономерности поведения ГТР с ростом A и Z . Было показано, что наибольшая степень коллективности частично-дырочных состояний pn типа, образующих ГТР, связана с переходами с нижней компоненты спин-орбитального дублета на верхнюю (спин-флип переходы), тогда как переходы с $\Delta j = 0$ (j - j -типа), доминирующие в АР, приводят к возникновению слабо коллективного ГТ-состояния, сателлита основного ГТР (“*pigmy – resonance*”). При этом ГТР энергетически расположен выше АР, тогда как его j - j -сателлит, существование которого предполагала японская группа, действительно энергетически расположен ниже АР, однако имеет степень коллективности много меньшую чем истинный ГТР.

Отметим, что в наших расчетах появлялась и низколежащая ветвь коллективных изобарических состояний, которая связана с переходами с верхней компоненты спин-орбитального дублета на нижнюю (обратный спин-флип). Эти состояния меньшей степени коллективности чем ГТР

должны проявляться в ядрах с большим избытком нейтронов и существенно влиять на периоды полураспада $T_{1/2}$ и другие характеристики, связанные с β -распадом ядер. Параллельно в ОИЯИ (Дубна) группой Н.И. Пятова в рамках *QRPA* были выполнены расчеты для ряда деформированных ядер [14] (см. так же обзор [15]), а в Ленинграде Ю.В. Наумовым, О.Е. Крафт, А.А. Быковым и И.Н. Изосимовым проводились экспериментальные исследования силовой функции β -распада и резонансных состояний [16] (см. так же обзор [17]).

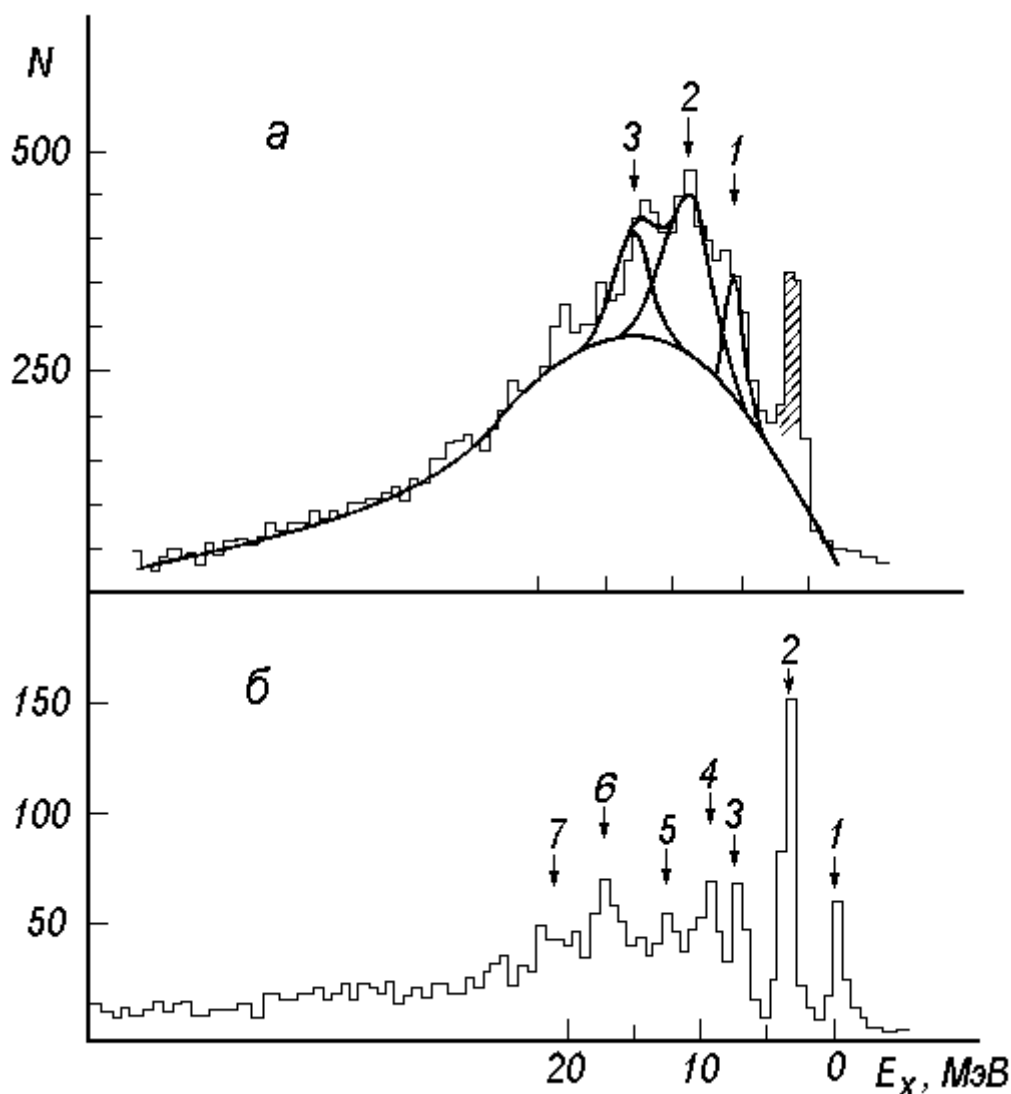


Рис. 1. Экспериментальные данные по реакции (${}^6\text{Li}$, ${}^6\text{He}$) на ${}^{90}\text{Zr}$ (а) и ${}^{13}\text{C}$ (б) [22]. Цифрами обозначены наблюдаемые возбуждённые состояния с энергиями E_x . На рис. а: 1- AP, 2 – $E_x = 8.7$ (ГТР), 3 – 13.0 МэВ ($M1$); на рис. б: 1 – $E_x = 0$, 2 – 3.5, 3 – 7.4, 4 – 9.2, 5 – 12.5, 6 – 17.5, 7 – 21 МэВ. (Заштрихованный пик соответствует наложенным импульсам от пика упругого рассеяния).

Экспериментальная ситуация по коллективным зарядово-обменным возбуждениям и, прежде всего по ГТР, долгое время оставалась

неопределенной. В начале 1970-х группой А. Галонского в США были начаты интенсивные поиски ГТР выше АР в прямой (p,n) -реакции на циклотроне Индианского университета с использованием протонов с энергией 50—200 МэВ и новой техники магнитного поворота пучка и времяпролетной методики регистрации нейтронов, которые увенчались успехом к 1974 г. [18-20]. Окончательное подтверждение эти результаты получили в работах экспериментальной группы циклотрона Индианского университета (Стеренбург и др. [21]), сообщившей об открытии широкого (3—5 МэВ) пика в (p,n) -реакции при $E_p = 45$ МэВ в 17-ти ядрах вблизи и несколько выше (0,3—3,9 МэВ) АР. Первые эксперименты проводились при угле 7.5° , однако, оптимальными являются наблюдения ГТР вблизи 0° . В нашей стране первые наблюдения ГТР в ядерных реакциях были проведены несколько позже в ИАЭ им. И.В. Курчатова группой А.А. Оглобина в реакции перезарядки (${}^6\text{Li}$, ${}^6\text{He}$) на ядрах ${}^{90}\text{Zr}$ и ${}^{13}\text{C}$ [22] (см. рис. 1). Отметим также эксперименты группы Б.Я. Гужовского [23], в которых в реакции ${}^{117}\text{Sn}(p,n){}^{117}\text{Sb}$ наблюдался гигантский резонанс в составном ядре ${}^{118}\text{Sb}$. Окончательное доказательство существования ГТР в энергетической области выше АР было получено в большом цикле экспериментальных работ 1979 – 80 гг. [24], определившем положение этого состояния в широкой области ядер от легких до тяжелых ${}^{208}\text{Pb}$ (обзор экспериментальной ситуации см. в [25]). В этих экспериментах было подтверждено, в частности, предсказание о сближении ГТР и АР с ростом нейтронного избытка $N - Z$ для ядер изотопов Zr и показано, что в ${}^{208}\text{Pb}$ эти резонансы практически вырождаются.

Отметим, что возможность такого вырождения предсказывалась авторами еще в 1973 году [10] в связи с исследованием ими проблемы восстановления вигнеровской $SU(4)$ суперсимметрии, позволяющей феноменологически описывать с помощью вигнеровских супермультиплетов серии изобарических состояний ядер [26]. Определенной проверкой справедливости такого описания ГТР и АР стали работы, посвященные массовым соотношениям для ядер-изобар в схеме нарушенной вигнеровской $SU(4)$ симметрии [27–29]. Эти работы подтвердили факт, выявленный ранее в микроскопических расчетах, что описание ГТР в рамках такой симметрии улучшается с ростом нейтронного избытка $N - Z$.

В настоящей работе представлено описание гигантского гамов-теллеровского резонанса и других ветвей коллективных возбуждений ядер в рамках теории конечных ферми-систем, доказана связь ГТР с вигнеровской $SU(4)$ симметрией, дано описание силовой функции β -распада и процессов, сопровождающих β^- -распад ядер с большим избытком нейтронов. Анализируется влияние сателлитов ГТР на характеристики распадов нейтронно-избыточных ядер. Показано, что $SU(4)$ симметрия восстанавливается с ростом нейтронного избытка $N-Z$. Так же показано, что в ядрах с большим избытком нейтронов коллективные изобарические состояния нижних ветвей возбуждения

попадают в энергетическое окно β^- -распада Q_β и существенно влияют на характеристики распадов нейтронно-избыточных ядер.

2. МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГАМОВ-ТЕЛЛЕРОВСКОГО РЕЗОНАНСА

Для расчетов зарядово-обменных возбуждений ядер нами использовалась теория конечных ферми-систем А.Б. Мигдала [13], в которой параметры изобарических состояний (ИС) находятся из решения уравнений для эффективного поля ядра гамов-теллеровского типа:

$$\begin{aligned}
 V_{\lambda\lambda'} &= V_{\lambda\lambda'}^\omega + \sum_{\lambda_1\lambda_2} \Gamma_{\lambda\lambda\lambda_1\lambda_2}^\omega A_{\lambda_1\lambda_2} V_{\lambda_2\lambda_1} + \sum_{\nu_1\nu_2} \Gamma_{\lambda\lambda'\nu_1\nu_2}^\omega A_{\nu_1\nu_2} V_{\nu_2\nu_1} \\
 V_{\nu\nu'} &= \sum_{\lambda_1\lambda_2} \Gamma_{\nu\nu'\lambda_1\lambda_2}^\omega A_{\lambda_1\lambda_2} V_{\lambda_2\lambda_1} + \sum_{\nu_1\nu_2} \Gamma_{\nu\nu'\nu_1\nu_2}^\omega A_{\nu_1\nu_2} V_{\nu_2\nu_1} \\
 A_{\lambda\lambda'}^{(p\bar{n})} &= \frac{n_\lambda^n (1 - n_{\lambda'}^p)}{\varepsilon_\lambda^n - \varepsilon_{\lambda'}^p + \omega}, \quad A_{\lambda\lambda'}^{(n\bar{p})} = \frac{n_\lambda^p (1 - n_{\lambda'}^n)}{\varepsilon_\lambda^p - \varepsilon_{\lambda'}^n - \omega}, \quad V^\omega = e_q \sigma \tau^+. \quad (1)
 \end{aligned}$$

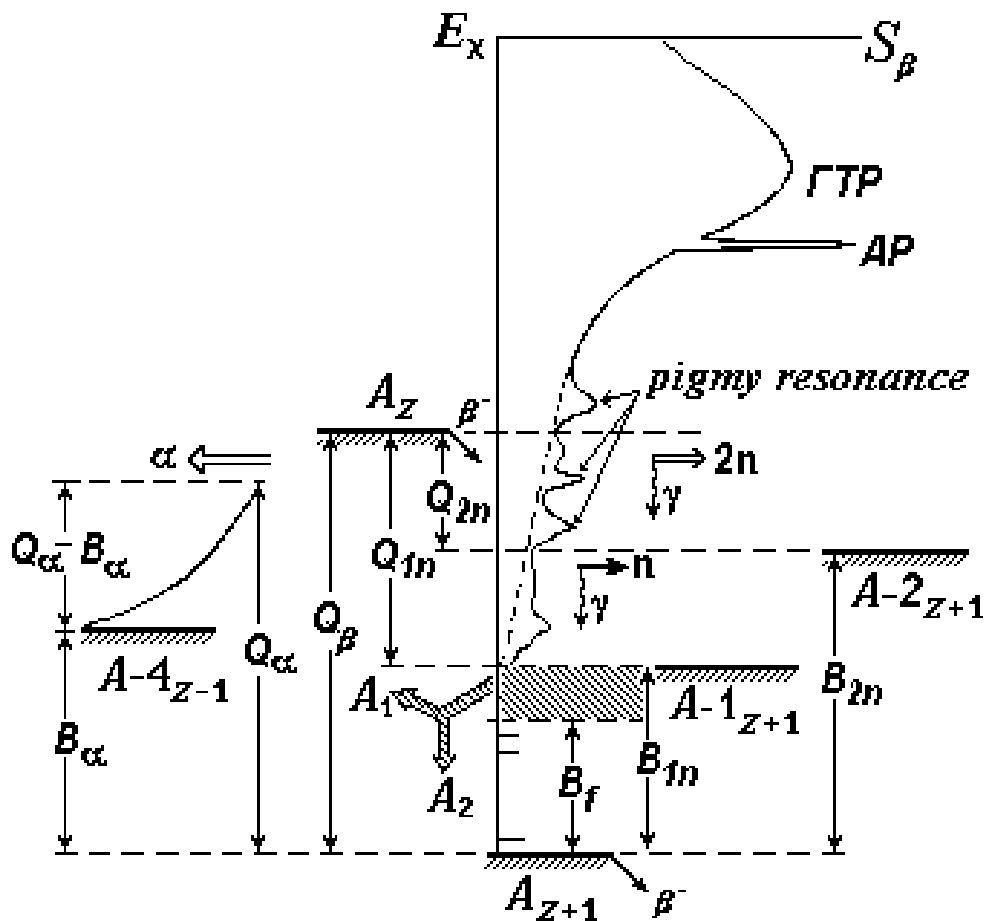


Рис. 2. Схема ГТР в нейтронно-избыточных ядрах и процессов, сопровождающих β^- -распад. Заштрихована область энергий, где возможно запаздывающее деление.

Здесь уравнение для эффективного поля ядра берется в λ -представлении с разделенными переменными согласно Гапонову-Крайнову [30]. Матричные элементы эффективного $V(r, \omega)$ и затравочного $V^{\omega\epsilon}$ полей рассчитываются с волновыми функциями квазичастиц в нейтронном и протонном потенциалах ядра $A(N, Z)$; n_λ и ϵ_λ – числа заполнения и энергии состояний λ в этих потенциалах. Индексы ν используются для l -запрещенной части ($\Delta l=2$) взаимодействия. В выражения для локального нуклон-нуклонного взаимодействия Γ^ω (Ландау - Мигдал)

$$\Gamma^\omega = C_0 (f_0' + g_0' \boldsymbol{\sigma}_1 \boldsymbol{\sigma}_2) \boldsymbol{\tau}_1 \boldsymbol{\tau}_2 \delta(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2) \quad (2)$$

входят константы: f_0' спин-спинового и g_0' спин-изоспинового взаимодействия квазичастиц, которые являются феноменологическими параметрами и подбираются из сравнения с экспериментальными данными.

Учет членов, связанных с мягкой пионной модой, приводит к эффективной перенормировке константы g_0' :

$$g_{0\text{эф}}' = g_0' - e_q^2 f_\pi^2 \frac{dn}{d\mu} \xi^{-2} \left(\frac{k^2}{1+k^2} + \frac{4\xi}{\pi m_\pi R} (1+k^2)^{-2} \right), \quad (3)$$

где $k = \pi \Delta n / (m_\pi R)$, где Δn изменение главного квантового числа, а константа $\xi \approx 0,5$ учитывает влияние Δ -изобары, f_π – константа πN -взаимодействия, m_π – эффективная масса пиона с учетом Δ -изобары.

Для переходов $\Delta n=0$, к которым относится ГТР, $\pi \Delta n \ll m_\pi R$ и эффективная константа близка к локальной. Согласно расчетам с учетом пионной моды [15], эти эффекты оказывают влияние на состояния лежащие выше ГТР, а его энергия уменьшается почти одинаково для всех рассчитанных ядер на величину не больше чем 1 МэВ. Используемая здесь параметризация эффективного взаимодействия Ландау-Мигдала с помощью констант f_0' и g_0' является довольно упрощенной (более полный анализ см. в обзоре [15]), однако такой подход позволяет относительно просто рассчитать параметры изобарических состояний. В ядрах с большим избытком нейтронов энергия ГТР, отсчитанная от основного состояния дочернего ядра, принимает большие значения 25–30 МэВ (см. рис.2) и влияние пионной моды увеличивается, что требует отдельного рассмотрения.

Полюса эффективного поля (1) определяют энергии возбужденных состояний, а вычеты $\chi_{\lambda_1 \lambda_2}$ связаны с матричными элементами β -переходов из этих состояний в основное состояние ядра $A(N, Z)$:

$$M_{GT}^2 = \sum_{\lambda_1 \lambda_2} \chi_{\lambda_1 \lambda_2} A_{\lambda_1 \lambda_2} V_{\lambda_1 \lambda_2}^{\omega} \quad (4)$$

Вычеты нормированы как в [13] и определяют вклад частично-дырочных конфигураций $\lambda_1 \lambda_2$ в состояние ω_k , т. Е. степень его коллективности [12]. Основную силу ГТ переходов вбирает в себя ГТР, так для матричного элемента возбуждения ГТР в 1^+ состояние (при $\Delta E > E_{ls}$) было получено [12]:

$$M_{GTR}^2 = e_q^2 3(N-Z)(1-\delta), \quad \delta \approx \frac{2a E_{ls}^2}{g_0(E_{ls}^2 + \Delta E^2)} \quad (5)$$

где δ характеризует примесь к ГТР других типов переходов (не спин-флип), E_{ls} – средняя энергия спин-орбитального расщепления (13) и

$$\Delta E = (4/3) \varepsilon_F (N-Z)/A \quad (\varepsilon_F \approx 40 \text{ МэВ}) \quad (6)$$

Чистота ГТР как состояния типа спин-флип согласно (5) увеличивается с ростом $N-Z$, т.е. величина δ уменьшается, что соответствует уменьшению примеси других изобарических состояний. Таким образом, оттягивание основной силы β -переходов вверх к ГТР объясняет уменьшение матричных элементов β -распада, т. е. подавленность β -переходов. Фактор подавленности подробно исследовался в [12], а расчеты величин $T_{1/2}$ представлены в [72].

Другой интересной особенностью распределения силы гамма-теллеровских β –переходов является так называемый «*quenching*»-эффект, или недобор правила сумм для квадратов матричных элементов до теоретического значения $3(N-Z)$. В ТКФС этот эффект феноменологически учитывается введением эффективного заряда $e_q < 1$ [13], т.е. при $e_q = 0,8$ [15] величина «*quenching*» будет равна $q = e_q^2 = 0,64$, что близко к экспериментальным данным [7]. Учет влияния мезонных эффектов позволяет частично объяснить наблюдаемый «*quenching*», а для нейтронно-избыточных ядер это влияние будет усиливаться. Другим фактором, связанным с «*quenching*»-эффектом является влияние многочастичных конфигураций и примешивание к ГТР высоколежащих коллективных состояний, связанных с другими типами симметрии. Выделить все эти высоколежащие состояния, разделить их “хвосты” – сложная экспериментальная задача.

Спаривание в расчетах [12] учитывалось путем обычной замены $\varepsilon_\lambda \rightarrow E_\lambda = \sqrt{\varepsilon_\lambda^2 + \Delta_\lambda^2}$, где энергия Δ_λ и числа заполнения n_λ рассчитывались по ТКФС (программа В.П. Крайнова) с потенциалом Саксона – Вудса. Такое приближение давало положения коллективных 1^+ -состояний с погрешностью 1–2 МэВ. В более поздних расчетах нейтронно-избыточных ядер, использовался самосогласованный ядерный потенциал для получения одночастичных энергий и волновых функций. В расчетах [31] использовалось более сложное эффективное взаимодействие в частично-

дырочном канале с добавлением юкавской нелокальной части $\sim u(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)$ аналогично [15] с учетом пионной моды перенормировкой эффективного заряда $e_q[\sigma\tau] = (1 - 2\zeta_s)$, где $\zeta_s = 0,1$ определено из сравнения расчетов в ТКФС с данными по ГТР и $M1$ резонансам. Расчеты [32, 33] для нейтронно-избыточных ядер проводились с одночастичными характеристиками, получаемыми из самосогласованной ТКФС и использовался квазичастичный лагранжиан L_p , зависящий от ядерных плотностей [34] построенных из волновых функций. Вся приведенная совокупность соотношений самосогласованна. Задание универсальных параметров лагранжиана L_p дает возможность рассчитать одночастичные волновые функции и ядерные спектры (в том числе энергии отделения одного нуклона S_n и S_p), плотности распределения нуклонов ρ_n и ρ_p , а также энергию связи ядра.

В ядерных реакциях с участием ГТР, в частности, в реакции обратного β -распада $-(\nu, e)$, а так же при расчетах распадов нейтронно-избыточных ядер с энергиями $Q_\beta > B_n$, где B_n – энергия отрыва нейтрона в дочернем ядре-изобаре (см. рис. 2), необходимо знать весь спектр изобарических состояний, т. Е. распределение бета-силы по всему энергетическому интервалу до максимальных энергий нейтрино. Для проведения таких расчетов используется представление о силовой функции β -распада $-S_\beta \epsilon$, которая описывает усредненные вероятности переходов в интервале энергий $I = \Delta\epsilon \rightarrow dE$. Нормирована силовая функция β -распада согласно правилу сумм (с учетом “*quenching*” –эффекта):

$$\int_0^{E_{\max}} S_\beta(E) dE = e_q^2 \cdot 3(N - Z) \quad (7)$$

где E_{\max} – максимальная энергия, учитываемая в расчетах или в эксперименте. Поскольку область интегрирования лежит в непрерывном спектре, соответственно все состояния $-i$ имеют ширину Γ_i точный расчет которой представляет большую проблему. Различные попытки точного расчета Γ_i с учетом вклада многочастичных конфигураций не привели к хорошему описанию эксперимента по ширинам ГТР. Поэтому в расчетах функции S_β нами использовалось известное брейт-вигнеровское описание уширения больших и маленьких резонансов, которое затем суммировалось и таким образом формировалась функция S_β :

$$S_\beta(E) = M_i^2 \frac{\Gamma_i}{(E_\beta - \omega_i)^2 + \Gamma_i^2} Const \quad (8)$$

Другой принципиальный вопрос состоит в том, как описывать сами ширины Γ_i . Ширина Γ_i связана с мнимой частью собственно-энергетического оператора соотношением [13]:

$$\Gamma = -2 \operatorname{Im} [\sum (\epsilon + iI)] = \alpha \cdot \epsilon |\epsilon| + \beta \epsilon^3 + \gamma \epsilon^2 |\epsilon| + O(\epsilon^4) \dots \quad (9)$$

В расчетах $S_{\beta}(E)$ достаточно взять только первый член разложения с $\alpha \approx \varepsilon_F^{-1}$, учитывающий влияние трехквартичных конфигураций, и, согласно [13], полагалось, что $\alpha \approx 0,018 \text{ МэВ}^{-1}$. Сравнение изложенной методики с экспериментальными данными было сделано на основе расчетов силовой функции $S_{\beta}(E)$ ядра ^{127}Xe , выполненных в рамках обсуждения возможности использования иодно-ксенонового детектора для регистрации солнечных нейтрино [35]. В рамках изложенного подхода проведены расчеты [36] силовой функции $S_{\beta}(E)$ ядра ^{127}Xe и были рассмотрены два варианта уширения по брейт-вигнеровской форме, но с разными представлениями Γ_i : а) $\Gamma_i = \Gamma(\omega_i)$ и б) $\Gamma_i = \Gamma(E_{xi})$. При этом считалось, что $E_{max}=20 \text{ МэВ}$, $e_q=0,8$, как вариант наиболее близкий к экспериментальным возможностям. В последнем случае «*quenching*» (q) был равным $q = 0,64$. Силовая функция ^{127}Xe для двух видов уширения ИС приведена на рис. 3. В структуре силовой функции выделяется наиболее коллективное состояние – ГТР с энергией 13,6 МэВ (эксперимент [37] дает $E_{\text{ГТР}}=14,5 \text{ MeV}$, т. Е. на 0,9 МэВ ($\approx 7\%$) выше). Ниже ГТР расположен так называемый пигми -резонанс с энергией 7,6 МэВ, построенный в основном на $1h_{11/2}^n - 1h_{9/2}^n$ конфигурации. Отметим, что расчеты [36] по настоящей методике, проводились задолго до эксперимента [37] и показали для ГТР хорошее согласие.

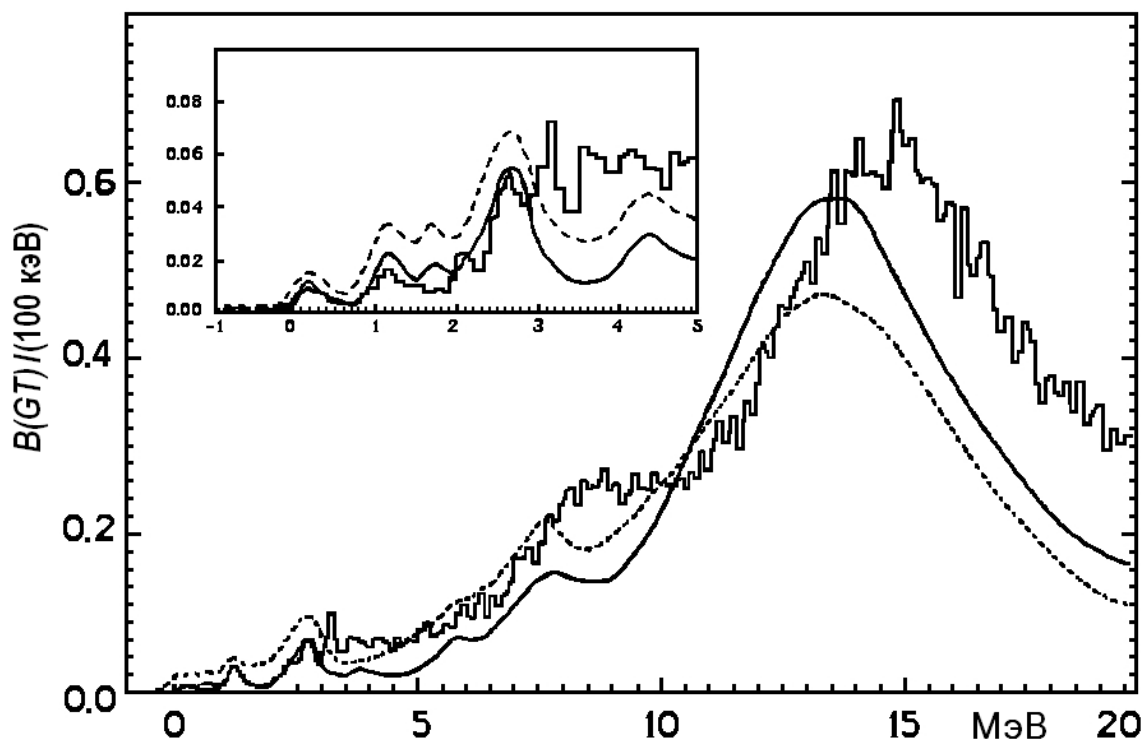


Рис. 3. Силовая функция β -распада ^{127}Xe : Гистограмма - эксперимент [38]; кривые – расчеты [37]: сплошная линия – $\Gamma=\Gamma(E_x)$, $q = 0.64$, точечная – $\Gamma=\Gamma(\omega)$, $q = 0.64$.

Как видно из рис. 3, разные способы уширения ИС отличаются тем, что в одном случае ($\Gamma_i = \Gamma(\omega_i)$) большая доля силы высоколежащих ИС опускается в низкоэнергетическую часть спектра, образуя достаточно интенсивную «подложку», а в другом случае ($\Gamma_i = \Gamma(E_{xi})$) большая доля силы уходит в высокоэнергетическую область. Экспериментальные измерения [37] проводились в реакции $^{127}\text{I}(p,n)^{127}\text{Xe}$ до энергии $E_{max} = 20$ МэВ и получалась величина “quenching” – эффекта $q(\%) = 53.54$, это составляет 0,84 от нашего значения $q = e_q^2 = 0,64$. Сравнение с другими микроскопическими расчетами, выполненными до получения экспериментальных данных, например [38], показывает, что их точность предсказания не превосходит описанного подхода.

3. МОДЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ГАМОВ-ТЕЛЛЕРОВСКОГО РЕЗОНАНСА

Для построения физически наглядной модели было использовано квазиклассическое приближение в ТКФС, которое позволило выявить физические особенности коллективных решений уравнений (1) и получить их аналитический вид. Для этого пренебрежем в уравнении (1) l -запрещенными членами и перепишем его в виде:

$$V(r) = V^\omega(r) + \frac{g_0}{4\pi} \frac{dn}{d\mu} \sum_{\lambda_1 \lambda_2} R_{\lambda_1}^+(r) R_{\lambda_2}(r) \beta_{\lambda_1 \lambda_2} V_{\lambda_2 \lambda_1}(r) \quad (10)$$

Здесь R_λ – радиальные части волновых функций квазичастиц; $\beta_{\lambda_1 \lambda_2}$ – коэффициенты угловых частей, связанных с правилами отбора (подробнее см. [39]). Введем средние энергетические параметры ядра A (N, Z): E_{ls} – среднюю энергию спин-орбитального расщепления, ΔE – энергетическую ширину слоя избыточных нейтронов. Разобьем сумму (10) на три части в соответствии с гамов-теллеровскими правилами отбора ($\Delta J = \pm 1, 0$): в первую группу соберем $p\bar{n}$ -переходы с $\Delta j = +1$ с нижней компоненты спин-орбитального дублета на верхнюю (спин-флип), во вторую — $p\bar{n}$ -переходы с $\Delta j = j_p - j_{\bar{n}} = 0$ (j - j -типа), в третью – $n\bar{p}$ -переходы с $\Delta j = j_n - j_{\bar{p}} = -1$ (обратный спин-флип) или, что эквивалентно – обратные им $p\bar{n}$ -переходы.

Разложим $V(r)$ по собственным функциям интегрального уравнения, отвечающим различным типам симметрии радиального поля и для $V(r) = \text{Const}$ преобразуем (10) к виду:

$$\frac{1}{g_0} = \frac{\Delta E}{\Omega} a + \frac{\Delta E + E_{ls}}{\Omega - E_{ls}} b_+ + \frac{\Delta E - E_{ls}}{\Omega + E_{ls}} b_-, \quad (11)$$

где: $\Omega = \omega - \mu$, $a = \sum R_\lambda^2(r) \beta_{\lambda\lambda} \delta_{l_1 l_2}$, $b_\pm = \sum R_{\lambda_1 \lambda_2} \beta_{\lambda_1 \lambda_2}^{(\pm)} \delta_{l_1 l_2}$, ($j_1 - j_2 = \pm 1$).

В приближении полноты системы волновых функций имеем:

$$a \approx 1/3, \quad b_{\pm} \approx \frac{1}{3} \left(1 \mp (2A)^{-1/3} \right), \quad b = b_+ + b_- \approx 2/3, \quad a + b = 1 \quad (12)$$

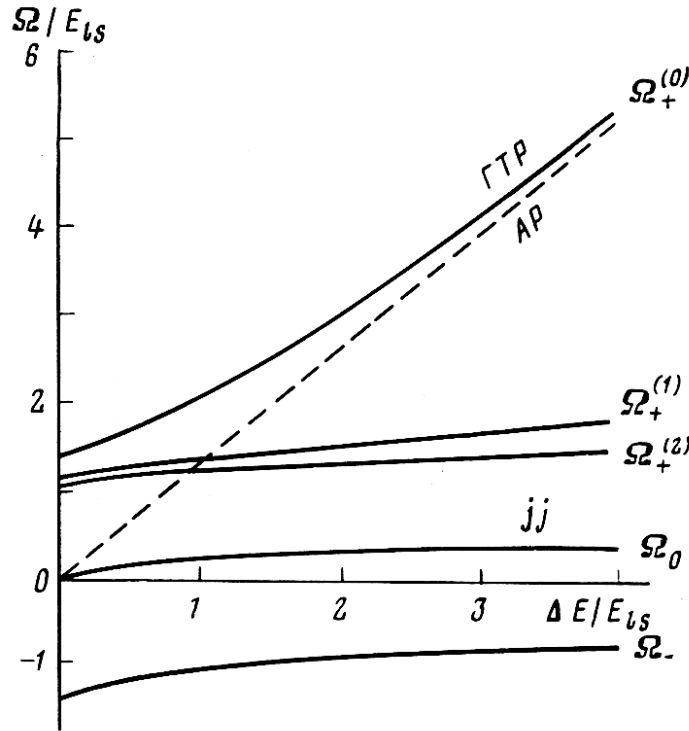


Рис. 4. Поведение решений $\omega_{0,\pm}$ и конфигурационных коллективных ИС $\Omega_+^{(1)}$ и $\Omega_+^{(2)}$ в зависимости от параметра $\Delta E/E_{ls}$.

В уравнение (10) входят средние энергетические параметры ядра $A(N,Z) - \Delta E$ (6) и E_{ls} – средняя энергия спин-орбитального расщепления ГТ переходов [39]:

$$E_{ls} = \sum_{\lambda_1 \lambda_2} n_{\lambda_1} (1 - n_{\lambda_2}) \varepsilon_{\lambda_1 \lambda_2}^{ls} / \sum_{\lambda_1 \lambda_2} n_{\lambda_1} (1 - n_{\lambda_2}) \sim (N - Z)^{-1} \quad (13)$$

где n_{λ} – числа заполнения, а $\varepsilon_{\lambda}^{ls}$ – энергии расщепления для спин-орбитальных дублетов, ε_F – энергия Ферми ядра.

Уравнение (11) имеет три решения, отвечающих трем коллективным состояниям ГТ типа с $\Delta n=0$. Частота $\omega_+ = \omega_{\text{ГТР}}$ соответствует ГТР типа спин-флип; частота ω_0 – состоянию j - j -типа, или – типа поляризации остова (“pigmy-resonance”); частота ω_- – коллективному состоянию, связанному с $p\bar{n}$ -переходами $\Delta j = -1$ (обратный спин-флип) или $n\bar{p}$ -переходами $\Delta j = +1$.

Решения при $\Delta E > E_{ls}$ имеют вид (относительно частоты АР):

$$\Delta_{\text{Г-А}} = \omega_+ - \omega_{\text{АР}} = \omega_{\text{ГТР}} - \omega_{\text{АР}} \approx (g_0' - f_0') \Delta E + b \frac{1 + b g_0'}{(a + b) g_0'} \frac{E_{ls}^2}{\Delta E} [1 + c(A) E_{ls} / \Delta E]^{-1}$$

$$\omega_{\text{АР}} - \omega_0 \approx (f_0' - g_0') \Delta E + b g_0' \quad (14)$$

$$\omega_- - \omega_0 \approx \frac{1 + bg'_0}{(a+b)g'_0} \left(\frac{E_{ls}}{\Delta E} + ag'_0 \right) E_{ls},$$

где $c(A) \approx 0.8A^{-1/3} < b$ и слабо зависит от A .

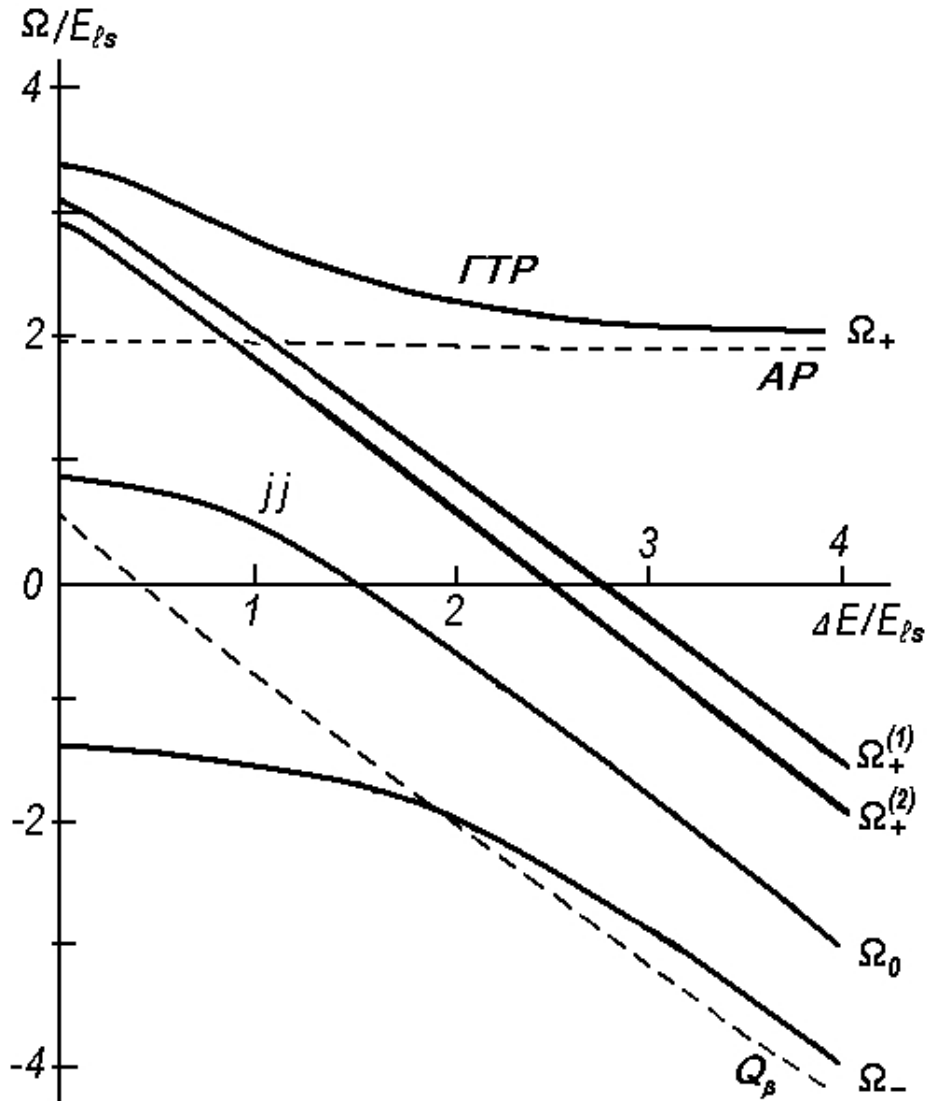


Рис. 5. Для изотопов одного элемента с $Z = Z_0 = Const$ поведение решений $\omega_{0,\pm}$ и конфигурационных коллективных ИС $\Omega_+^{(1)}$ и $\Omega_+^{(2)}$ в зависимости от параметра $\Delta E/E_{ls}$. Верхний пунктир AP, нижний – Q_β .

Как видно из формул (14) с ростом нейтронного избытка ($N-Z$), точнее величины $(N-Z)/A$, параметр ΔE увеличивается и энергии резонансов ГТР и AP сближаются (при условии, что отношение $E_{ls}/\Delta E$ не увеличивается). Состояния ω_0 – типа поляризации остова или «пигми-резонансы» от энергии спин-орбитального расщепления не зависят и так же слабо зависят от параметра $(N-Z)/A$ (при $g'_0 \approx f'_0$). Это хорошо видно на рис. 4, где все энергии нормированы на E_{ls} и представлены в зависимости от безразмерного отношения $\Delta E/E_{ls} \sim (N-Z)/A$. Там же показаны энергии

$\omega-/E_{ls}$, которые слабо изменяются с ростом отношения $(N-Z)/A$. Отметим здесь, что с ростом нейтронного избытка, т. е. с движением в область короткоживущих нейтронно-избыточных ядер, окно β^- -распада Q_β увеличивается и туда попадают сначала коллективные изобарические состояния ω_0 , а затем и ω_- , что приводит к быстрому уменьшению периода полураспада $T_{1/2}$ в ядрах с большим избытком нейтронов. Это показано на рис. 5, где, как и на рис. 4, представлены нормированные решения, но для изотопов одного элемента ($Z = Z_0 = Const$).

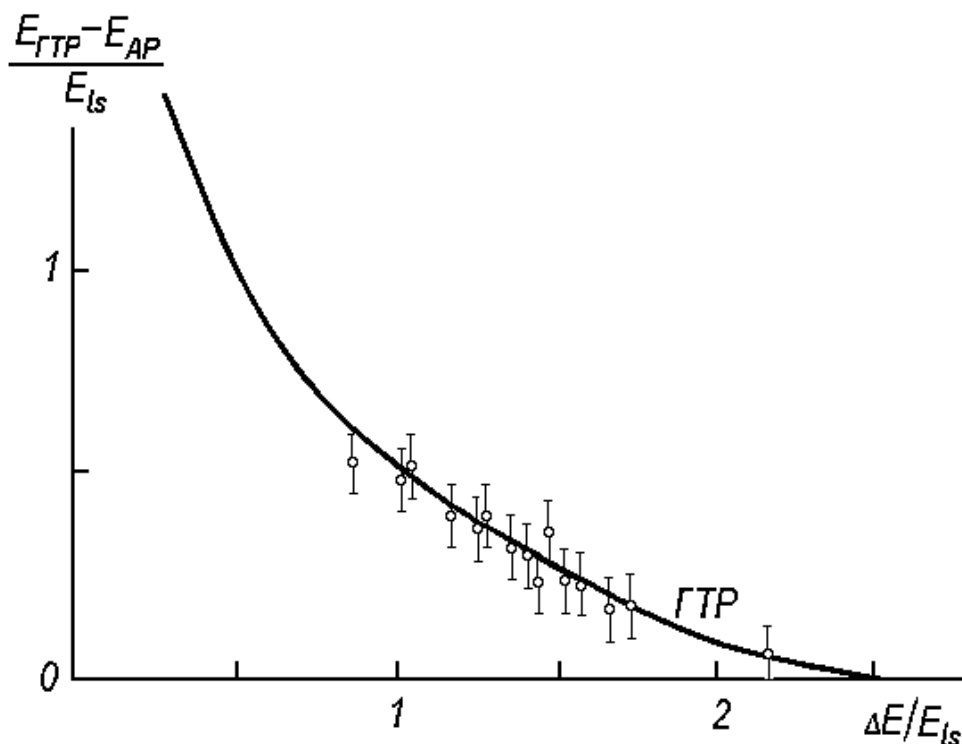


Рис. 6. Энергия расщепления $\Delta_{G-A} = E_{ГТР} - E_{AP}$ нормированная на E_{ls} в зависимости от безразмерного отношения $\Delta E/E_{ls}$. Точки \circ – экспериментальные данные [18–24,41]; кривая – зависимость, рассчитанная по формуле (14).

Для этих изотопов энергия AP слабо зависит от $N-Z$ (как $A^{-1/3}$) и состояния ω_0 и ω_- – сателлиты ГТР, с ростом $N-Z$ попадают в окно β^- -распада Q_β . Возможны так же и другие решения уравнения (10) соответствующие $V(r) \neq Const$, например $V(r) = V_0 + ar^2 + br^4$, что определяет существование изобарических конфигурационных коллективных состояний, отвечающих более высокой симметрии эффективного поля и лежащих ниже AP ($\Omega_+^{(1)}$ и $\Omega_+^{(2)}$ на рис. 4 [11,12]). По аналогии с антианалоговыми их можно назвать анти-ГТР коллективными изобарическими состояниями. Как видно на рис. 5 эти состояния тоже попадают в окно β^- -распада Q_β с ростом $N-Z$.

Сравнение экспериментальных [18–24, 73] и расчетных значений [11,12] разности энергий AP и ГТР представлено на рис. 6. Расчеты по

формуле (14) для величины Δ_{G-A} (сплошная линия) получены при параметризации $b = \frac{2}{3} \cdot [1 - (2A)^{-1/3}]$.

4. ГАМОВ-ТЕЛЛЕРОВСКИЙ РЕЗОНАНС И ВИГНЕРОВСКАЯ $SU(4)$ СИММЕТРИЯ

Прогнозируемое в [9] сближение энергий AP и ГТР (см. рис. 6), а также приближение матричного элемента β -распада ГТР к его аналоговому значению (без фактора $2J+1$) с увеличением нейтронного избытка $N-Z$, позволило авторам в 1973 году сделать предположение о возможном восстановлении нарушенной $SU(4)$ симметрии в тяжелых ядрах [10]. Последующие эксперименты, в которых были измерены энергии возбуждения ГТР и AP подтвердили это предположение.

Несколько позднее, в работе [15] также было получено выражение для энергии расщепления ГТР и AP – Δ_{G-A} (соотн. (65)):

$$\Delta_{G-A} = E_{ГТР} - E_{AP} = \frac{4}{3} \varepsilon_F \left(\alpha_1 + \frac{\alpha_2}{A^{1/3}} \right) \frac{N-Z}{A} + \omega_{sl}, \quad \text{где} \quad \omega_{sl} = - \frac{4}{3} \frac{\langle U_{sl} \rangle}{N-Z} \quad (15)$$

где – $\alpha_1 = g^- - f_{in}^-$, а α_2 – параметр, учитывающий вклад от мезонного обмена, влияния нелокальности эффективного взаимодействия и конечных размеров ядра, а ω_{sl} – средняя энергия спин-орбитального расщепления ([15] соотн. (61)). В работе [15], использовались значения $\alpha_1 \approx - (0,10 \div 0,15)$ и $\alpha_2 \approx - (0,0 \div 0,12)$, полученные из сравнения с экспериментальными данными.

Недавние расчеты ГТР [46] в рамках $QRPA$ подхода с различными вариантами сил Скирма показали, что из сравнения с экспериментом энергия расщепления ГТР и AP может быть представлена формулой:

$$E_{ГТР} - E_{AP} = \Delta E_{ls} + 2(k_{\sigma\tau} - k_{\tau}) \frac{N-Z}{A}, \quad (16)$$

где $2(k_{\sigma\tau} - k_{\tau})$ – константа, связанная с $(\sigma\tau)$ и τ взаимодействиями. Эта формула похожа на предыдущую (15), хотя экспериментальные данные (всего по 6-и ядрам) ближе к зависимости (14), представленной на рис. 6.

Таким образом, согласно (13) и (15) средняя энергия спин-орбитального расщепления уменьшается в нейтронно-избыточных ядрах, что является следствием подавления спин-орбитального взаимодействия и, как предполагал Вигнер (*E.P. Wigner*), подтверждает восстановление $SU(4)$ симметрии в этих ядрах. Дополнительное подтверждение восстановления было получено исследованием массовых соотношений в рамках этой симметрии [27–29].

Гипотеза о возможности реализации в ядерной физике спин-изоспиновой $SU(4)$ симметрии была выдвинута впервые Вигнером в 1937 году [40]. Она основывалась на предположении о малости LS -связи, что выполнялось для электронных оболочек атомов и Вигнером было

предложено перенесение этих идей в ядерную физику. Соответственно в ядре, для реализации идеи вигнеровской симметрии, подавляться должно спин-орбитальное взаимодействие. Так же для эффективного взаимодействия в форме Ландау-Мигдала не должно быть различия в изоспин-изоспиновой и спин-изоспиновой части, т. е. должно выполняться равенство констант: $g = f' = g'$ (в нашем случае: $g_0 = f_0' = g_0'$). Сравнение экспериментальных данных по энергиям ГТР с расчетными значениями по ядрам от ^{90}Nb до ^{208}Pb [41], позволило получить отношение констант:

$$g_0' / f_0' = 0,93 \div 0,94 \quad (17)$$

т. е. близкое к отношению в вигнеровской схеме, равному единице.

Подтверждение эффекта восстановления вигнеровской симметрии делает актуальным дальнейшее развитие массовой формулы особенно применительно к тяжелым ядрам [27,42]. Первоначально Вигнер [40], исходя из спин-изоспиновой инвариантности, построил массовую формулу для ядер с заданным числом нуклонов:

$$M(A) = a(A) + \frac{1}{2} b(A) (P^2 + 4P + P'^2 + 2P' + P''^2) = a(A) + b(A) \Sigma(P, P', P'') \quad (18)$$

где: изоспин $T = P + 2$, спин $S = P' + 1$, спин-изоспиновое произведение $Y = P''$. Параметры $a(A)$ и $b(A)$ – универсальные функции массового числа A , не зависящие от N и Z , т. е. единые для всех ядер-изобар. Детальное исследование проблемы связи $SU(4)$ симметрии с коллективными изобарическими состояниями ядер (не только гигантских резонансов ГТР и AP) представлено в [28-29,43]. Обзор симметрий в ядерной физике см. в [44]. Вигнер также предположил, что основные состояния ядер $A(N,Z)$ входят в $SU(4)$ – мультиплеты (P, P', P'') : $(T_z, 0, 0)$ – для четно-четных, $(T_z, 1, 0)$ – для нечетно-четных и $(T_z, 1/2, 1/2)$ – для нечетных по A ядер. Проверкой этого предположения явился метод, предложенный Францини и Радикатти [45], основанный на выполнении для масс ядер соотношения, следующего из $SU(4)$ теории:

$$R = \frac{M(A, T_0) - M(A, T_0 - 2)}{M(A, T_0 - 1) - M(A, T_0 - 2)} \quad (19)$$

Такая проверка была неоднократно проведена в цикле работ с участием авторов [12,27,28,41], причем брались как экспериментальные данные, так и расчетные значения масс ядер. Расчетные значения масс получались по формуле Вигнера (18) в которую добавили члены, отвечающие за кулоновское и парное взаимодействия (см. [42] и обзор [29]). Согласие полученных теоретических значений R (19) с экспериментальными по большому количеству ядер [27, 12] получилось со средней погрешностью 2%, что довольно не плохо для массовой формулы.

Таким образом, восстановление вигнеровской $SU(4)$ симметрии в тяжелых ядрах подтверждается как экспериментальными данными по

вырождению ГТР и AP резонансов, по анализу массовых соотношений ядер, так и сравнением аналитических выражений, полученных в схеме супермультиплетов, с аналогичными, но полученными в микроскопическом подходе.

5. ГАМОВ-ТЕЛЛЕРОВСКИЙ РЕЗОНАНС И ПРОЦЕССЫ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ β -РАСПАД НЕЙТРОННО-ИЗБЫТОЧНЫХ ЯДЕР

Развитие концепции ГТР вбирающего большую часть силы β -переходов, позволило описывать и прогнозировать характеристики распада нейтронно-избыточных ядер. В первую очередь новые методики использовались в реакторной физике при расчете свойств короткоживущих ядер-продуктов деления, что важно для изучения свойств облученного ядерного топлива. Позже, к середине 1980-х годов, прогнозируемые характеристики нейтронно-избыточных ядер стали необходимы в расчетах нуклеосинтеза в интенсивных нейтронных потоках в астрофизических условиях (см., например [47]) в связи с разработкой сложных программных комплексов, позволяющих моделировать процессы, происходящие при взрывах звезд. Короткоживущие ядра с большим избытком нейтронов имеют энергию β -распада – Q_β , достигающую 15 – 20 МэВ (см. рис. 2). Такие значения Q_β больше энергии отрыва одного и двух нейтронов (B_{1n} и B_{2n}), больше энергии отрыва α – частицы и больше барьера деления в дочернем ядре, следовательно после β -распада должны, с определенной вероятностью идти процессы эмиссии нейтронов (запаздывающих нейтронов), α -распада и деления (запаздывающее деление) – (β^-, n) , (β^-, α) и (β^-, f) – процессы (см. рис. 2). Эти процессы необходимо учитывать при решении задач нуклеосинтеза, ряда прикладных задач реакторной физики, физики защиты от излучений и ядерной геофизики.

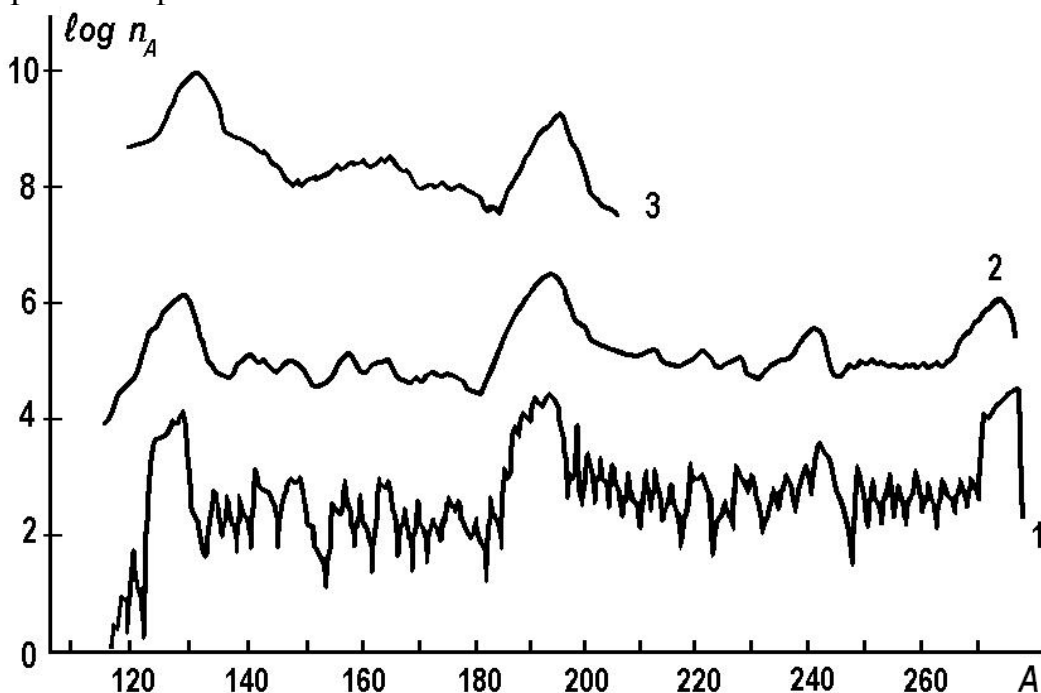


Рис. 7. Зависимость рассчитанной (в отн. ед.) распространенности ядер от A при $T=10^9$ К, $n_n=10^{24}$ см⁻³, 1 – без ветвлений; 2 – с ветвлениями за счет $(\beta^-, (1-3)n)$ – процессов; 3 – экспериментальные данные (в масштабе, сдвинутом по вертикальной оси).

Существенную роль рассматриваемые процессы играют при решении фундаментальных задач, связанных с постановкой и анализом нейтринных экспериментов на реакторах, с исследованием проблем образования тяжелых и сверхтяжелых ядер и космохронологии.

Число каналов (β, x) -процесса определяется энергией Q_β (см. рис. 2). Для нейтронно-избыточных ядер с $Q_\beta > 5 \div 7$ МэВ обычно выполняется условие $Q_\beta > B_{1n}$ и возможна эмиссия запаздывающего нейтрона; для ядер с $Q_\beta > 10 \div 15$ МэВ выполняется условие $Q_\beta > B_{2n}$ и возможен $(\beta^-, 2n)$ -процесс эмиссии двух запаздывающих нейтронов. Процессы $(\beta^-, 3n)$ и (β^-, α) , как правило, возможны при $Q_\beta > 15 \div 20$ МэВ и вероятность их мала. Так в случае (β^-, α) -процесса необходимо дополнительно учитывать кулоновский барьер B_c для α -частицы. Для тяжелых ядер с большим избытком нейтронов, β^- -распад которых может привести к делению – (β^-, f) -процесс, энергия Q_β превышает высоту барьера деления B_f в дочернем ядре ($Q_\beta > B_f$). Конкурирующим процессом является более быстрый (β^-, n) -процесс – эмиссия запаздывающих нейтронов. Энергетическая возможность (β^-, f) -процесса определяется из условия $Q_\beta > B_n > B_f$, т.к. при $B_f > B_n$ будет доминировать эмиссия запаздывающих нейтронов.

Остановимся подробнее на процессе эмиссии запаздывающих нейтронов, играющем большую роль в реакторной физике [49], астрофизике [50] и геофизике (определение урана по запаздывающим нейтронам [51]). Этот процесс обнаружен уже в более чем 80 ядрах-продуктах деления и более чем в 30 легких ядрах.

Вероятность – P_n определяется числом испущенных запаздывающих нейтронов, нормированным на 100 β -распадов материнского ядра и связана с вероятностью I_β — заселения изобарических состояний с энергией E в дочернем ядре выражением:

$$P_{kn} = \int_{B_{kn}}^{Q_\beta} \int_0^{Q_{kn}} I_\beta(E) W_n(U, E) dU dE \approx \int_{B_{kn} + \delta}^{Q_\beta} I_\beta(E) dE \quad (20)$$

где $Q_{kn} = Q_\beta - B_{kn}$ и для однеитронной эмиссии $k=1$. В расчетах с хорошей точностью можно считать, что вероятность испускания нейтрона с возбужденного состояния – $W_n(U, E) \cong 1$, так как в данном случае эмиссия нейтрона с возбужденного состояния конкурирует с более медленным процессом γ -распада и $\frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_n + \Gamma_\gamma} \approx 10^{-3} \div 10^{-5}$. Параметр обрезания, $\delta \leq 50$

кэВ ограничивает область конкуренции с γ -распадом низколежащих состояний в конечном $(A-1, Z+1)$ ядре. Интенсивность β -перехода

I_β в состояние дочернего ядра с энергией возбуждения $E=E_x$ связана с силовой функцией формулой:

$$I_\beta(E) = S_\beta(E_\beta) \cdot F(Z, E_\beta) / I_0 ; \quad \text{где} \quad I_0 = \int_0^{Q_\beta} S_\beta(E) f(Z, Q_\beta - E) dE \quad (21)$$

Здесь $f(Z, Q_\beta - E)$ – статистическая функция энергии, включающая известный кулоновский множитель. Вероятность эмиссии P_n как и период полураспада сильно зависит от положения низколежащих коллективных ИС как $T_{1/2} \sim E_\beta^{-5}$ и, так же выражается через силовую функцию S_β , учитывающую влияние ГТР. Особенно сильно величина P_n увеличивается при попадании в энергетическое окно эмиссии $Q_n = Q_\beta - B_n$ коллективного $j-j$ состояния – пигми-резонанса или ИС типа поляризации остова (см. рис. 2 и 5).

Изложенная методика применялась для расчетов вероятностей P_n и периодов полураспада для большой группы нейтронно-избыточных ядер экспериментальные данные по которым полностью или частично отсутствуют. Для ядер – продуктов деления рассчитывались интегральные P_n характеристики облученного ядерного топлива [52], а так же и спектр запаздывающих нейтронов [53]. Сравнение расчетов в таком приближении для ядер с известными экспериментальными данными по P_n и $T_{1/2}$ показывает удовлетворительную для данной задачи точность $\delta T_{1/2} \sim \delta P_n \approx 30 \div 50\%$. Потеря точности при использовании данного приближения такого же порядка, как и неточности, возникающие от погрешностей в массовых формулах.

Особенный интерес вызывает роль запаздывающих нейтронов в нуклеосинтезе при образовании элементов в астрофизическом r -процессе [50]. Уравнения ядерной кинетики были написаны и запрограммированы более чем для 3000 ядер [50] из которых большинство – это неизученные нейтронно-избыточные ядра, образующиеся в интенсивных нейтронных потоках при высоких температурах. Для этих ядер прогнозировались вероятности P_n и периоды полураспада $T_{1/2}$. Получилось, что эмиссия запаздывающих нейтронов приводит к сильному ветвлению изобарных цепочек, к перераспределению нуклидов в процессе нуклеосинтеза и к существенному сглаживанию итоговых распределений концентраций получаемых ядер (см. рис. 7). То же самое происходит и в ядерном реакторе, но масштаб эффекта существенно меньше.

Для ядерного реактора важна роль запаздывающих нейтронов (ЗН) так же в формировании интегрального нейтронного потока, так как доля ЗН может достигать 1 – 2%, что определяет их влияние на кинетику переходных процессов, т. е. на управление реактором. Доля ЗН в нейтронном потоке звездного нуклеосинтеза может быть тоже не маленькой, так как на один нейтронный захват для ядер с большим

нейтронным избытком с последующим их β^- -распадом эмитируется от 0,3 до 0,7 ЗН. В динамическом нуклеосинтезе, при уменьшении общего потока нейтронов со временем, запаздывающие нейтроны как бы возвращаются в нуклеосинтез на стадии образования более тяжелых элементов, что продлевает r -процесс.

Остановимся на сравнительно новом эффекте – мультинейтронной бета-задержанной эмиссии: (β^-,kn) -процесс ($k = 2,3,\dots$). С начала 1980-х годов изучается $(\beta^-,2n)$ -процесс, который наблюдался уже во многих ядрах. Идея о возможности эмиссии двух нейтронов была высказана еще в 1960 г. В. И. Гольданским [54], однако первые измерения вероятностей P_{2n} оказались возможными для ядра ^{11}Li только в 1979 г. [55], а годом позже на том же пучке протонов в *CERN* были измерены значения P_{2n} для изотопов $^{30,31,32}\text{Na}$ [56].

Периоды полураспада и значения P_{kn} (%) для изотопов Na.

Ядро	Эксперимент			Настоящий расчет				
	$T_{1/2}$, мс	P_{1n}	P_{2n}	$T_{1/2}$, мс	P_{1n}	P_{2n}	P_{3n}	P_{2n}/P_{n+n}
^{31}Na	17	37,3±5,4	1.15±0,25	21	24,9	0,45	0,03	0,058
^{32}Na	12,9	23,9±6,8	0,87±0,24	10,6	23,8	3,4	0,08	0,12
^{33}Na	8,4	52±20	8,3±2,1	7,5	50,0	13,9	0,29	0,09
^{34}Na	5,5	113±22*	12±5	4,8	93,1*	19,7	1,05	0,16

* Суммарная величина – полное число нейтронов $I_n = \sum_k kP_{kn}$, испущенных на 100 β^- -распадов.

Через год был обнаружен и $(\beta^-,3n)$ -процесс [57], а для ядра ^{31}Na получена верхняя экспериментальная граница $P_{3n} < 0,05\%$ [58]. В последнее время интерес к исследованию мультинейтронных β^- -задержанных распадов повысился в связи с получением нуклидов расположенных на границе нейтронной стабильности. Описание эффекта мультинейтронной бета-задержанной эмиссии в микроскопической теории, первые расчеты и прогнозы вероятности эффекта были проделаны практически сразу после экспериментального обнаружения новых эффектов совместно с И.В. Пановым и В.К. Сироткиным. Эти результаты были опубликованы в работах [59, 60] связанных с двухнейтронной бета-задержанной эмиссией и в работах [48, 61], описывающих $(\beta^-, 3n)$ -процесс.

В расчетах использовались, описанные выше, представления о силовой функции β -распада с учетом ГТР. Результаты расчетов для нейтронно-избыточных изотопов Na представлены в таблице [61]. Видно, что величины $T_{1/2}$ и P_{1n} неплохо совпадают с экспериментом, а описание P_{2n} улучшается с ростом $N-Z$, так как окно распада Q_{2n} увеличивается и увеличивается значение интеграла (20). Дело еще и в том, что механизм эмиссии двух нейтронов пока неясен, так как согласно расчетам [61], преобладает каскадный $n + n$ – процесс, но интересная особенность $(\beta^-, 2n)$ -процесса связана с возможностью эмиссии коррелированной динейтронной пары [32, 62]. Согласно расчетам (см. таблицу), соотношение вероятностей $P_{n+n} \gg P_{2n}$, что подтверждает доминирование каскадного процесса. Вопрос о динейтроне 2n обсуждался в литературе, однако в β -задержанных процессах он еще не наблюдался. Рассчитанные ширины $\Gamma \sim 10^{-3}$ МэВ соответствуют времени жизни квазистационарного состояния 2n -пары $\tau \sim \hbar/\Gamma \sim 10^{-18}$ с, что на четыре порядка превышает временной масштаб сильного взаимодействия $\sim 10^{-22}$ с. Так что в 4 π эксперименте возможно наблюдение $\beta^- \leftrightarrow {}^2n$ корреляции.

Процесс запаздывающего деления, (β, f) – процесс возможен для тяжелых ядер с $Q_\beta > B_f$, причем для нейтронно-избыточных ядер с $B_n > Q_\beta > B_f$ идет только (β^-, f) –процесс. Для ядер с $Q_\beta > B_f > B_n$ (β^-, f) – процесс сильно подавлен за счет конкуренции с эмиссией ЗН, а для ядер с $Q_\beta > B_n > B_f$ (β^-, f) – процесс идет только в энергетическом окне $Q_{nf} = B_n - B_f$ (см. рис. 2), т. е. для β^- -переходов области энергий $B_n > E_\beta > B_f$. На карте ядер область, где возможен (β^-, f) –процесс представляет собой полосу, расположенную между областью β -стабильности и треком r -процесса [63], т. е. между “стабильными” и сильно нейтронно-избыточными ядрами.

Очевидно, что в меру величины вероятности $P_{\beta f}$ образование “стабильных” тяжелых ядер тормозиться. В ряде случаев (β^-, f) -процесс может быть усилен появлением в соответствующей области энергии коллективного ИС – «пигми-резонанса». Однако это усиление не может приводить к большой вероятности $P_{(\beta, f)}$, так как большая доля интенсивности I_β идет на низколежащие состояния в силу соотношения $I_\beta \sim E_\beta^{-5}$ для энергий $E_\beta < B_f$.

Влияние эффекта запаздывающего деления на образование тяжелых ядер, происходящее в интенсивных нейтронных потоках и при высоких температурах (астрофизический r -процесс) исследовалось ранее в работах [63-66]. Было показано, что влияние (β^-, f) – эффекта может быть довольно существенным и пренебрегать им нельзя. Учет запаздывающего деления важен, во-первых, для решения вопроса эффективности r -процесса в синтезе элементов с $A > 240$, так как его трек проходит через область ядер, для которых возможен (β^-, f) -процесс. Во-вторых, для более точного расчета обилия элементов, образующихся в r -процессе, и определения

возраста Галактики на основе расчета изотопных соотношений тяжелых ядер-космохронометров [67]. Кроме того, (β^-, f) -процесс является механизмом регулировки интенсивности нуклеосинтеза в области сверхтяжелых элементов и создания обратной связи для подпитки r -процесса в области средних и тяжелых ядер, совместно с процессом прямого (n, f) [68] и спонтанного деления.

Для расчетов вероятности (β^-, f) -процесса в рамках той или иной микроскопической модели строится силовая функция β -распада S_β .

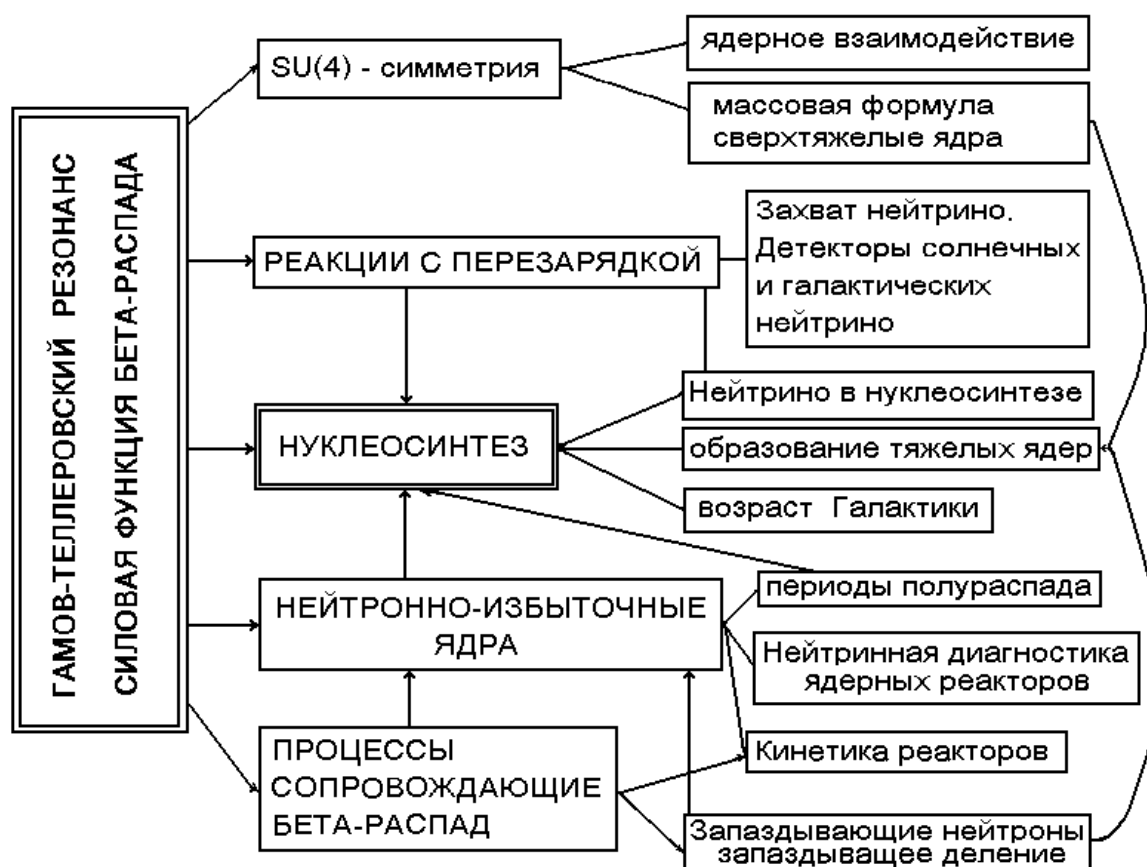


Рис. 8. Круг задач связанных с ГТР и силовой функцией бета-распада.

Несовершенство используемых в настоящее время моделей для расчета S_β заключается, во-первых, в недостаточном учете специфики слабо связанных ядерных систем, какими являются сильно нейтронно-избыточные ядра и, во-вторых, тем, что не учитывается деформация присущая тяжелым ядрам. Более точный и адекватный теоретический метод предполагает расчет всех ядерных данных в едином микроскопическом самосогласованном подходе с учетом континуума и деформации ядер, так как эффектом деформации в нейтронно-избыточных ядрах пренебрегать нельзя [69].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие теории гигантского Гамов-Теллеровского резонанса и связанное с ним понимание подавленности разрешенных β -переходов позволило разработать микроскопические модели для расчета различных характеристик ядер – от периода полураспада до сечений нейтринных реакций и спектров антинейтрино от работающих атомных реакторов. Круг различных фундаментальных и прикладных задач прямо или через силовую функцию β -распада связанную с ГТР представлен на рис. 8.

Из перечисленных на рис. 8 задач упомянем расчет сечений нейтринных реакций и спектров антинейтрино от работающих атомных реакторов. Расчет сечений, как солнечных, так и галактических нейтрино невозможен без учета влияния ГТР через силовую функцию $S_{\beta}(E)$. Такие расчеты были проведены в рамках настоящего подхода, использующего ТКФС, и при сравнении с экспериментальными функциями $S_{\beta}(E)$ для ядер – важных в планируемых нейтринных детекторах ^{71}Ge [70] и ^{127}Xe [36] (см. рис. 3) дали неплохое согласие. Отметим, что расчеты для ^{127}Xe были опубликованы намного раньше – в 1989 году [36], а экспериментальные данные только в 1999 году [37].

Задача расчета нейтринных спектров работающих атомных реакторов развивалась с начала 1980-х годов в связи с разработкой нейтринных детекторов в ИАЭ им. И.В. Курчатова. При моделировании суммарного ν_e -спектра облученного топлива ядерного реактора приходится прогнозировать до 30% жестких ν_e -спектров (с $E_{\beta}^{\text{max}} > 5$ МэВ) для отдельных короткоживущих ядер, т. к. схема распада этих ядер не достаточно изучена или совсем неизвестна. Расчеты ν_e -спектров работающих атомных реакторов особенно важны при моделировании аварийных ситуаций. Возможности нейтринной диагностики при аварийных ситуациях на АЭС были рассмотрены в работе [71], где использовался настоящий метод расчета схем распада короткоживущих ядер и суммарных $\tilde{\nu}_e$ -спектров. С помощью нейтринной диагностики можно определить энерговыделение в процессе разгона реактора, окончившегося взрывом, и наличие в разрушенном аппарате самопроизвольной цепной реакции после взрыва. Что касается аварии на Чернобыльской АЭС, то отсутствие самопроизвольной цепной реакции было подтверждено результатом сложных, продолжительных и опасных для персонала измерений, однако дистанционная нейтринная диагностика позволила бы это сделать гораздо быстрее и безопаснее.

Среди задач, не рассмотренных подробно в настоящей работе, отметим теорию звездного нуклеосинтеза, популярную в настоящее время. Большая ядерно-физическая часть этой теории связана с расчетами различных сечений, скоростей реакций распада ядер, вероятностей эмиссии запаздывающих нейтронов и других физических величин для нейтронно-избыточных ядер. Как показано в настоящей работе,

большинство ядерно-физических данных, необходимых в расчетах нуклеосинтеза связано с моделированием силовой функции β -распада, включающей ГТР и его сателлиты. Наши расчеты свойств нейтронно-избыточных ядер стали использоваться при решении задач нуклеосинтеза в начале 1980-х годов, одновременно с разработкой мощных компьютерных программ, моделирующих процесс взрывного звездного нуклеосинтеза. В последующие годы похожие подходы начали развиваться и в других странах.

В настоящее время большой интерес представляет моделирование процесса нуклеосинтеза тяжелых и сверхтяжелых ядер. В расчетах свойств таких ядер и ядерных превращений тоже используется представление о гигантском гамов-теллеровском резонансе и о других ветвях коллективных возбуждений. В связи с доказанным восстановлением вигнеровской $SU(4)$ симметрии в тяжелых ядрах, возможно усовершенствование массовой формулы [28-29] и применение её к тяжелым ядрам, участвующим в процессе нуклеосинтеза. Для тяжелых нейтронно-избыточных ядер необходимо, так же учитывать деформацию как в спектре одноквазичастичных состояний, так и в спектре возбужденных коллективных состояний ядер. Особенно сильно эффекты деформации должны влиять на вероятности процессов, сопровождающих β^- -распад нейтронно-избыточных ядер из-за изменения энергетических окон $Q_{\beta x}$ в которые происходит распад по соответствующему (β^-, x) -каналу. В идеале все энергетические характеристики ядер, в том числе и деформированных и вероятности их распадов, должны рассчитываться в едином самосогласованном микроскопическом подходе.

Авторы благодарны: А.Г. Артюху, Дж. Бангу, А.А. Боровому, Д.М. Владимирову, В.З. Гольдбергу, Д.Ф. Зарецкому, М.В. Звереву, С. П. Камерджиёву, В.И. Ляшуку, Ю.Ц. Оганесяну, А.А. Оглоблину, И.В. Панову, Ю.Э. Пенионжкевичу, Э.Е. Саперштейну, О. Синюковой, С.А. Фаянсу, В.М. Чечеткину, Н.Б. Шульгиной за стимулирующие дискуссии и помощь в работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-02-12168-офи_м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. B. Migdal, J. Phys. (USSR) **8**, 331 (1944); ЖЭТФ **15**, 81 (1945).
2. A. B. Migdal, A. A. Lushnikov, D. F. Zaretsky, Nucl. Phys. **66**, 193 (1965); A. Lushnikov, D.F. Zaretsky, Nucl. Phys. **66**, 35 (1965); А. А. Лушников, М. Г. Урин, ЯФ **1**, 436 (1965).

3. С. П. Камерджи́ев, Изв. РАН, Сер. Физ. **61**, 152 (1997); С. П. Камерджи́ев, В. И. Целяев, ЭЧАЯ, **28**, 333 (1997) ; S. Kamerdzhiev, J. Speth, G. Tertychny, Phys. Rep. **393**, 1 (2004).
4. M.N. Harakeh and A. Van Der Woude, Giant Resonances. Fundamental High-Frequency Modes of Nuclear Excitation (Clarendon Press, Oxford, 2001).
5. К. Ikeda, S. Fujii, J. I. Fujita, Phys. Lett. **2**, 169 (1962); Phys. Lett. **3**, 271 (1963).
6. J. I. Fujita, S. Fujii, K. Ikeda, Phys. Rev. **133**, 549 (1964).
7. J. I. Fujita, K. Ikeda, Nucl. Phys. **67**, 145 (1965).
8. A. Arima, Nucl. Phys. A **649**, 260 (1999).
9. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский, Письма в ЖЭТФ **15**, 173 (1972).
10. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский, Письма в ЖЭТФ **18**, 130 (1973).
11. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский, ЯФ **19**, 62 (1974).
12. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский, ЭЧАЯ **12**, 1324 (1981).
13. А. Б. Мигдал. Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер. (Наука, Москва, 1965, второе издание 1983).
14. S. I. Gabrakov, A. A. Kuliev, N. I. Pyatov. Phys. Lett. B **36**, 275 (1971).
15. Н. И. Пятов, С. А. Фаянс, ЭЧАЯ **14**, 953 (1983).
16. Ю. В. Наумов, О. Е. Крафт, ЭЧАЯ **6**, 892 (1975).
17. Ю. В. Наумов, А. А. Быков, И. Н. Изосимов, ЭЧАЯ **14**, 420 (1983).
18. R. R. Doering, A. Galonsky et. al., Phys. Rev. Lett., **35**, 1691 (1975).
19. A. Galonsky et. al., Phys. Rev. **144**, 748 (1976).
20. D. E. Bainum et al., Phys. Rev. Lett. **44**, 1751 (1980).
21. W. Sterrenburg et al., Intern. Conf. "Extreme States in Nuclear Systems". (Dresden, 1980). p. 87.
22. А. А. Виноградов и др., Письма в ЖЭТФ **33**, 233 (1981).
23. Б. Я. Гужовский, Б. М. Дзюба, В. Н. Протопопов, Письма в ЖЭТФ **40**, 487 (1984).
24. Proc. Intern. Conf. Nuclear Physics. (Berkley, California, USA, 1980).
25. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский, Изв. АН СССР, Сер. физ. **46**, 143 (1982).
26. Ю. В. Гапонов, Н. И. Пятов. Гигантские ядерные резонансы. (МИФИ, Москва 1983).
27. Ю. В. Гапонов, Ю. И. Григорьян, Ю. С. Лютостанский, ЯФ **31**, 65 (1980).
28. Yu. V. Garonov, N. B. Shulgina, D. M. Vladimirov, Nucl. Phys. A **391**, 93 (1982).
29. Yu. V. Garonov, D. M. Vladimirov, J. Bang. Spin-Isospin Symmetry in Nuclear Physics. (Acta Phisica Hungarica, New Series 3, E. Wigner Memorial Volume 1996), p. 189.
30. Ю. В. Гапонов и В. П. Крайнов, Кн. [13(1965)], гл. IV.6, стр. 506.
31. I. N. Borzov, Yu. S. Lyutostansky, I. V. Panov, S. A. Fayans. Reports 6-th Int. Conf. on Nucl. far from Stability. (Kues, Germany 1992), p. PE22.

32. М. В. Зверев, Н. В. Ключкова, Ю. С. Лютостанский, Е. К. Юдина. ЯФ **58**, 2172 (1995).
33. Yu. S. Lutostansky, Nucl. Phys. A **734**, Sup. 1, p. E69 (2004).
34. V. A. Khodel, E. E. Saperstein, Phys. Rep. **92**, 183 (1982).
35. J. N. Bahcall, Rev. Mod. Phys. **50**, 881 (1978); Bahcall et al.. Rev. Mod. Phys. **54**, 767 (1982); В.А. Кузьмин, ЖЭТФ **49**, 1532 (1965).
36. Yu. S. Lutostansky, N. B. Shulgina, Phys. Rev. Lett. **67**, 430 (1991). Препринт ИАЭ им. И. В. Курчатова, ИАЭ-4873/2, М. 1989.
37. M. Palarczyk, J. Raparport, et. al., Phys. Rev. **59**, 500, (1999).
38. J. Engel, S. Pittel, P. Vogel, Phys. Rev. C **50**, 1702 (1994).
39. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский. Препринт ИАЭ им. И.В. Курчатова, ИАЭ-2453, Москва 1974.
40. E. P. Wigner, Phys. Rev. **51**, 106 (1937).
41. Ю. В. Гапонов, Ю. С. Лютостанский, В. Г. Алексанкин, Письма в ЖЭТФ **34**, 407 (1981).
42. Ю. В. Гапонов, Н. Б. Шульгина, Д. М. Владимиров, Письма в ЖЭТФ **34**, 300 (1981).
43. Д. М. Владимиров, Ю. В. Гапонов, ЯФ **55**, 1824 (1992).
44. J. Bang, Yu. V. Gaponov, Physica Scripta **30**, 111 (1984).
45. P. Franzini, L. A. Radicatti, Phys. Lett. **6**, 322 (1963).
46. S. Fracasso and G. Colò, Phys. Rev. C **76**, 044307 (2007); ЯФ **70**, 1460 (2007).
47. Ю. С. Лютостанский и др., ЯФ **42**, 215 (1985).
48. Ю.С. Лютостанский, Известия АН СССР Сер. физ. **50**, 834 (1986).
49. Дж. Киппин, Физические основы кинетики ядерных реакторов. (Атомиздат, Москва 1967).
50. Ю. С. Лютостанский, И. В. Панов и др., ЯФ **44**, 66 (1986).
51. Е. Г. Верхман, Ю. М. Столбов, Р. П. Мещеряков, Геохимия **9**, 1337 (1979).
52. В. М. Колобашкин, Ю. С. Лютостанский и др. «Нейтронная физика». Материалы 5 конф. по нейтр. физ. (Киев 1980) ч. 3, с. 119.
53. В. Г. Алексанкин, Ю. С. Лютостанский, В. К. Сироткин. Там же, с. 124.
54. В. И. Гольданский, ЖЭТФ **39**, 497 (1960).
55. R. E. Azuma, et al., Phys. Rev. Lett. **43**, 1652 (1979).
56. C. Detraz, et. al., Phys. Lett. B **94**, 307 (1980).
57. R. E. Azuma, et. al., Phys. Lett. B **96**, 31 (1980).
58. C. Detraz, D. Guillemaud, et. al., CERN-81-09 (Geneva, 1981), p. 296.
59. Ю. С. Лютостанский, И. В. Панов, В. К. Сироткин, ЯФ **37**, 274 (1983); Известия АН СССР Сер. физ., **47**, 880 (1983).
60. Yu. S. Lyutostansky, I. V. Panov, Z. Phys. A **313**, 235 (1983).
61. Yu. S. Lyutostansky, I. V. Panov, V. K. Sirotkin, Phys. Lett. B **161**, 9 (1985).
62. Yu. S. Lyutostansky, M. V. Zverev, Nucl. Theory Report, www.lanl.gov/nucl-th/990952 (USA, (1999), p. 8.
63. Ю. С. Лютостанский, В. И. Ляшук, И. В. Панов. Изв. АН СССР сер.

- физ. **54**, 2137 (1990).
64. F.-K. Thielemann, J. Metzinger, H. V. Klapdor, Z. Phys. A **309**, 489 (1975).
65. I. V. Panov, E. Kolbe, B. Pfeifer, et. al., Nucl. Phys. A **747**, 633 (2005).
66. F.-K. Thielemann, C. Frohlich, R. Hirschi, et. al. Prog. Part. and Nucl. Phys. **59**, 74 (2008).
- 67 Ю. С. Лютостанский и др. ЯФ, **47**, 1226 (1988); Препринт МИФИ 062-86, (Москва, 1986).
68. I. V. Panov, I. Yu. Korneev, F.-K. Thielemann, Astron. Lett. **34**, 189 (2008).
69. Ю. С. Лютостанский. Известия РАН, Сер. физ. **73**, 187 (2009).
70. А. А. Боровой, Ю. С. Лютостанский, И. В. Панов, С. Х. Хакимов, Н. Б. Шульгина, Письма в ЖЭТФ **45**, 521 (1987).
71. А. А. Боровой, Д. М. Владимиров, С. Л. Гаврилов, М. В. Зверев, Ю. С. Лютостанский, Атомная Энергия **70**, 386 (1991).
72. В. Г. Алексанкин, Ю. С. Лютостанский, И. В. Панов, ЯФ **34**, 1451 (1981).
73. K. Pham et .al., Phys. Rev. C **51**, 526 (1995).

Избранные публикации научных трудов

1. Ю.В. Гапонов, В.С. Попов. β - γ -корреляции для разрешенных переходов при несохранении четности. ЖЭТФ, т. 33, с. 256 (1957).
2. Y.V. Gaponov, V.S. Popov. β - γ -correlation for allowed transitions involving nonconservation of parity. Nucl. Phys. 4, 453 (1957).
3. Ю.В. Гапонов. β - γ - корреляции в β -переходах первого запрета. ЖЭТФ, т. 36, с. 193 (1959).
4. Ю.В. Гапонов. Кулоновские β -переходы второго запрета. ЖЭТФ, т. 36, с. 1954 (1959).
5. Ю.В. Гапонов, И.С.Шапиро. Континуальное представление полных функций Грина. Вестник МГУ, т. 111, №2, с. 73 (1961).
6. Ю.В. Гапонов, И.В. Тютин. Неупругое рассеяние нейтрино на дейтоне. ЖЭТФ, т. 47, с. 1926 (1964).
7. Ю.В. Гапонов, В.П. Крайнов. Отделение угловых переменных в уравнениях для эффективного поля в сферических ядрах. Ядерная физика, т. 1, с. 573 (1965).
8. Ю. В. Гапонов. Разрешенные β -переходы ядер в теории конечных Ферми-систем. Ядерная физика, т. 2, с. 1002 (1965).
9. Ю.В. Гапонов. Ю.С. Фурсов. γ -переходы, вызванные нарушением пространственной четности в ядерных силах. Ядерная физика, т. 9, с. 963 (1969).
10. Ю.В. Гапонов. О реализации полного опыта в β -распаде. Ядерная физика, т. 10, с. 1003 (1969).
11. Ю.В. Гапонов. Полный опыт в β -распаде (обзор современных экспериментальных данных). УФН, т. 102, с. 211 (1970).
12. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Фурсов. О нарушении P-четности в M2-переходе ^{41}K . Ядерная физика, т. 13, с. 803 (1971).
13. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский. Изобарические конфигурационные 0^+ состояния протон-нейтронная дырка в сферических ядрах. Ядерная физика, т. 16, с. 484 (1972).
14. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский. О возможном существовании 1^+ резонанса в реакциях перезарядки сферических ядер. Письма в ЖЭТФ, т. 15, с. 173 (1972).
15. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский. Гамов - теллеровский резонанс и вигнеровская схема супермультиплетов. Письма в ЖЭТФ, т. 18, с. 130 (1973).
16. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский. Гамов - теллеровский изобарический 1^+ резонанс. Ядерная физика, т. 19, с. 62 (1974).
17. Ю.В. Гапонов, В.Н. Тихонов, Ю.Л. Добрынин. Рассеяние нейтрино и антинейтрино на водородоподобном атоме. Ядерная физика, т. 22, с. 328 (1975).
18. Ю.В. Гапонов. К вопросу о величине константы слабого NN-взаимодействия. Ядерная физика, т. 24, с. 1005 (1976).

19. Ю.В. Гапонов, В.Н. Тихонов. Упругое рассеяние низко-энергетических нейтрино на атомных системах. Ядерная физика, т. 26, с. 594 (1977).
20. Ю.В. Гапонов, Е.Х. Ахмедов. О гипотезе частичного сохранения аксиально-векторного тока в ядерном веществе. Ядерная физика, т. 30, с. 1331 (1979).
21. J.V. Garonov, E.Kh. Akhmedov, I.N. Mishustin. S- wave pion - nucleon interaction and PCAC in nuclear matter. Phys. Lett., В 92, 261 (1980).
22. Ю.В. Гапонов, Ю.И. Григорян, Ю.С. Лютостанский. Восстановление нарушенной вигнеровской SU(4) симметрии в тяжелых ядрах. Ядерная физика, т. 31, с. 65 (1980).
23. Ю.В. Гапонов, Н.Б. Шульгина, Д.М. Владимиров. Массовая формула в схеме восстановления вигнеровской SU(4)-симметрии в тяжелых ядрах. Письма в ЖЭТФ, т. 34, с. 300 (1981).
24. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский, В.Г. Алексанкин. Положение Гамов - теллеровского резонанса и проблема восстановления вигнеровской SU(4)-симметрии. Письма в ЖЭТФ, т. 34, с. 407 (1981).
25. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский. Гамов - теллеровский резонанс. Изв. АН СССР. Серия физическая, т. 46, с. 143 (1982).
26. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютостанский. Гамов - теллеровский резонанс (экспериментальный и теоретический статус). Труды V семинара "Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях", М., 1982, стр.182.
27. J.V. Garonov, N.B. Shul'gina, D.M. Vladimirov. Wigner SU(4)-symmetry restoration in heavy nuclei and the many-body forces problem. Nucl. Phys. A 391, 93 (1982).
28. J.V. Garonov, J. Bang. An SU(4)-invariant model for quasi-elastic heavy ion reactions. Invited Talk at 'The 4th Bergen Workshop in Nuclear Physics', University of Bergen, Norway, 1982.
29. Ю.В. Гапонов, Е.Х. Ахмедов, Б.В. Данилин, Р.У. Хафизов. Две модели изобарических коллективных состояний сферических ядер и их критических точек. Ядерная физика 37, 52 (1983).
30. Ю.В. Гапонов. Гипотеза вигнеровской SU(4) симметрии и экспериментальное значение g_a/g_v для нуклонов ядерной материи. Письма в ЖЭТФ 38, 204 (1983).
31. Ю.В. Гапонов. Гамов - теллеровский гигантский резонанс и проблема вигнеровской симметрии в ядерной физике. В сб. "Гигантские ядерные резонансы", МИФИ, М., 1983, стр.3.
32. Ю.В. Гапонов. И. Банг. SU(4)-инвариантная модель реакций квазиупругого взаимодействия тяжелых ионов с ядрами. Изв. АН СССР, сер. физ. 48, 129 (1984).
33. Ю.В. Гапонов. Схема вигнеровской спин-изоспиновой симметрии в ядерных процессах. Ядерная физика, т. 40, с. 85 (1984).
34. Ю.В. Гапонов, Д.М. Владимиров. Эффекты многочастичных корреляций в прямых зарядово-обменных реакциях в схеме

- вигнеровской SU(4)-симметрии. Известия АН СССР. Серия физическая, т. 48, с. 2021 (1984).
35. Ю.В. Гапонов, Н.Б. Шульгина, Ф.Е. Чукреев. Полуэмпирическое описание масс тяжелых ядер в схеме нарушенной вигнеровской SU(4)-симметрии. Часть 1. Анализ масс известных ядер. Часть 2. Прогноз масс некоторых ядер. ВАНТ, сер. ЯК, вып.4, т. 91, с. 99 (1985).
 36. Ю.В. Гапонов, Е.Х. Ахмедов, А.А. Боровой, А.Н. Херувимов. Сечение обратного β -распада и поляризация электронного антинейтрино. Письма в ЖЭТФ, т. 46, с. 258 (1987).
 37. J.V. Gaponov, D.M. Vladimirov, O.V. Bychuk. Theoretical description of the reactor antineutrino - deuteron interaction. Present-day status. Proc. of the XIIIth Int. Conf. on Neutrino Physics and Astrophysics 'Neutrino-88', Boston (Medford), June 5-11, 1988. World Scientific, 1989, p. 737.
 38. Ю.В. Гапонов, О.В. Бычук, Д.М. Владимиров. Спектры нуклонов в процессе взаимодействия реакторных антинейтрино с дейтоном. Ядерная физика, т. 49, с. 903 (1989).
 39. Ю.В. Гапонов, Н.Б. Шульгина. Анализ полного опыта в β -распаде в предположении о правых токах. Ядерная физика, т. 49, с. 1359 (1989).
 40. J.V. Gaponov, N.B. Shul'gina, P.E. Spivak. Neutron beta-decay and right-handed current problem. Phys.Lett.B 253, 283(1991).
 41. Ю.В. Гапонов, П.Е. Спивак, Н.Б. Шульгина. Бета-распад нейтрона и проблема правых токов. Ядерная физика, т. 52, с. 1653 (1990).
 42. Ю.В. Гапонов, Д.М. Владимиров. Теоретическое описание взаимодействия низкоэнергетических нейтрино с дейтоном. Труды I Межд. школы "Слабое взаимодействие при низких энергиях". Дубна, 1991, стр. 157.
 43. J.V. Gaponov, L.V. Inzhechik. The possibility of determination of decaying nuclei recoil by means of the phonon detector. Известия АН СССР. Серия физическая, т. 56, с. 89 (1992).
 44. Ю.В. Гапонов, Д.М. Владимиров. Коллективные спин-изоспиновые и спиновые состояния сферических ядер и проблема вигнеровской SU(4) симметрии. Ядерная физика, т. 55, с. 1824 (1992).
 45. Ю.В. Гапонов, Р.У. Хафизов. Поляризационные эксперименты в смешанных разрешенных зеркальных бета-переходах как решающий тест гипотезы правых токов. Ядерная физика, т. 57, с. 34 (1994).
 46. Ю.В. Гапонов, Р.У. Хафизов. Об исследовании радиационного β -распада нейтрона. Ядерная физика, т. 59, с. 1270 (1996).
 47. J.V. Gaponov, R.U. Khafizov. Radiative neutron β -decay and its possible experimental realization. Phys. Lett. B 379, 7 (1996).
 48. J.V. Gaponov, D.M. Vladimirov, J. Bang. Spin-Isospin Symmetry in Nuclear Physics. Acta Physica Hungarica New Series, Heavy Ion Physics, V.3 (1996) pp.189 -228.

49. Ю.В. Гапонов, А.Л. Барабанов, Б.В. Данилин, Н.Б. Шульгина. Захват мюона ориентированными ядрами – новые возможности изучения индуцированного псевдоскалярного взаимодействия. Ядерная физика, т. 59, с. 1940 (1996).
50. Ю.В. Гапонов, Л.В. Инжечик, Ю.В. Козлов, В.Н. Дугинов, В.А. Коробейников. Криогенные калориметрические детекторы для регистрации реакторных антинейтрино. Ядерная физика, т. 60, с. 1993 (1997).
51. J.V. Gaponov, S.V. Semenov, R.U. Khafizov. 2-beta Processes Induced by Neutrino Beam. Ядерная физика, т. 61, с. 1379 (1998).
52. J.V. Gaponov, L.V. Inzhechik, S.V. Semenov. Induced Double Beta Decay. Experimental Proposal. Ядерная физика, т. 61, с. 1384 (1998).
53. Ю.В. Гапонов. Бета-распад свободного нейтрона и гипотеза лепто-кварковых промежуточных состояний. Ядерная физика, т. 62, с. 1281 (1999).
54. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, Л.В. Инжечик. Изотопы и фундаментальные проблемы ядерной физики. В сборнике "Изотопы: свойства, получение и применение", Москва, 2000 г., с. 472.
55. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, Л.В. Инжечик. Индуцированные двойные бета-переходы как новый подход к исследованию физики слабого взаимодействия. Известия РАН. Серия физическая, т. 64, с. 38 (2000).
56. J.V. Gaponov. On Possible Contribution of a Lepto-Quark Intermediate Boson Mechanism in the Free Neutron Beta-Decay. Ядерная физика, т. 63, с. 1274 (2000).
57. Ю.В. Гапонов, Ю.А. Мостовой. Прецизионный анализ экспериментов по бета-распаду свободного нейтрона – стандартная модель и возможности ее нарушения. Ядерная физика, т. 63, с. 1432 (2000).
58. Ю.В. Гапонов, Ш.Ш. Набиев, Л.П. Суханов, Л.В. Инжечик. Электрооптическое разделение изотопов Са для ядерно-физических экспериментов. Ядерная физика, т. 64, с. 1619 (2001).
59. J.V. Gaponov, P. Domin, F. Jbimkovic, S.V. Semenov. Phenomenological study of solar-neutrino-induced $\beta\beta$ process of ^{100}Mo . Czech. J. Phys., 52, 451 (2002).
60. J.V. Gaponov, P. Domin, F. Jbimkovic, S.V. Semenov. Analysis of Solar-Neutrino-Induced $\beta\beta$ -Process for Several Nuclei. Ядерная физика, т. 65, с. 2247 (2002).
61. J.V. Gaponov, V. Yu. Baranov, L.V. Inzhechik, S.V. Semenov. Application of stable isotopes in the current large-scale projects of fundamental physics. Proc. of the VII All-Russia (Intern) Conf. on Physical and Chemical Processes on Selection of Atoms and Molecules, Zvenigorod, Troitsk, TROVANT, p. 64, 2002.
62. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, В.В. Хрущев. Современный статус исследования нейтрино с помощью спонтанных и индуцированных

- двойных бета – переходов. Труды VIII межд. конф. "Физио-химические процессы при селекции атомов и молекул. (Звенигород, 2003) ЦНИИ Атоминформ, Троицк, ТРОВАНТ, 2003, стр. 294.
63. Ю.В. Гапонов. Индуцированные 2 -бета - переходы в электронных пучках как резонансные реакции в слабом взаимодействии. Ядерная физика, т. 67, с. 2225 (2004).
64. J.V. Gaponov, S.V. Semenov, O.G. Ryazhskaya. Interaction of electron neutrino with ^{56}Fe in the LSD for $E_{\nu e} \leq 50 \text{ MeV}$. Ядерная физика, т. 67, с. 1993 (2004).
65. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, В.В. Хрущев, А.Я. Балыш. Современное состояние исследований по физике нейтрино и двойных бета - переходов стабильных ядер. Труды IX конф. "Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул." ЦНИИ Атоминформ, Троицк, ТРОВАНТ, 2004, с.130.
66. Ю.В. Гапонов, Л.В. Инжечик, С.В. Семенов. Изотопы и фундаментальные проблемы физики слабых взаимодействий. В книге "Изотопы: свойства, получение, применение" том 2, стр.7, Москва, Физматлит, 2005.
67. Ю.В. Гапонов. Майорановские свойства свободных частиц в схеме паулиевской симметрии. ДАН, т. 399, с. 334 (2004).
68. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, В.Б. Бруданин, А.Я. Балыш. Применение стабильных изотопов в фундаментальных исследованиях физики нейтрино. Труды X Всеросс. (межд.) конф. "Физико - химические процессы при селекции атомов и молекул." (Звенигород, 2005) ЦНИИ Атоминформ, 2006, стр. 198.
69. Ю.В. Гапонов. Описание майорановских свойств нейтральных частиц в рамках паулиевской симметрии. Ядерная физика, т. 69, с. 683 (2006).
70. Ю.В. Гапонов. Двухфлейворная нейтринная паулиевская модель и нейтринные осцилляции. ДАН, т. 41, с. 612 (2006).
71. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, А.Я. Балыш. Развитие работ по применению стабильных изотопов в нейтринных исследованиях. Труды XI конф. "Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул". (Звенигород, 2006) ЦНИИ Атоминформ, 2006, стр.206.
72. J. Gaponov, S. Semenov, R. Dvornicky. Contribution of the excited 1^+ states to the $^{116}\text{Cd} 2\nu 2\beta$ - transition amplitude. Proc. of the Intern Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy (NPAE-Kyiv, 2006), Kyiv, Ukraine, 2007, p.473.
73. Ю.В. Гапонов. Трехфлейворная паулиевская модель майорановских нейтрино и проблема нейтринных масс. ДАН, т. 423, с. 621 (2008).
74. Ю.В. Гапонов, С.В. Семенов, В.В. Хрущев. Феноменологические соотношения для углов смешивания кварков и нейтрино. Ядерная физика, т. 71, с. 163 (2008).

75. Ю.В. Гапонов, Ю.С. Лютоостанский. Гигантский Гамов-Теллеровский резонанс в нейтронно-избыточных ядрах. Ядерная физика, т. 73, с. 1403 (2010).
76. Ю.В. Гапонов. Майорановские массы нейтрино в трехфлейворной паулиевской модели. Ядерная физика, т. 74, с. 290 (2011).

ВОСПОМИНАНИЯ

Ю. В. Гапонов и физика изотопов

В. Я. Панченко

Являясь заместителем директора Института молекулярной физики Российского научного центра «Курчатовский институт» по научной работе, Юрий Владимирович уделял большое внимание объединению усилий специалистов, работающих в различных областях физики для решения наиболее важных фундаментальных задач. К числу таких проблем, безусловно, относится поиск безнейтринного двойного бета-распада стабильных изотопов, оценка массы нейтрино и определение параметров нейтринных осцилляций. Недавно в литературе появился термин "double-beta race", гонка за безнейтринным двойным бета-распадом, который может происходить только в том случае, если нейтрино является майорановской частицей. Предлагаются и разрабатываются все более крупные, амбициозные международные проекты, использующие значительные массы изотопов. Чувствительность установки по поиску безнейтринного перехода пропорциональна произведению степени обогащения по нужному изотопу и корню из массы используемого два-бета источника. Поэтому применение высокообогащенных изотопов, и, в особенности, изотопа ^{150}Nd , позволяет существенно повысить чувствительность по периоду полураспада в безнейтринном канале. Свой взгляд на эту проблему Юрий Владимирович изложил в статье «Изотопы и фундаментальные проблемы физики слабых взаимодействий» в монографии «Изотопы. Свойства. Получение. Применение», ред. В.Ю. Баранова [1]. В этой же монографии опубликована интереснейшая статья Ю.В. Гапонова «К истории открытия стабильных изотопов» [2].

В Курчатовском институте накоплен большой опыт по производству стабильных изотопов. Юрий Владимирович в своих выступлениях на международных конференциях, во время докладов, которые он делал по приглашению зарубежных научных центров, всегда привлекал внимание научного сообщества к целесообразности сотрудничества между российскими и иностранными учеными с целью

повышения эффективности работ по изучению свойств нейтрино и слабого взаимодействия. При активном участии Юрия Владимировича было принято решение о работе российских производителей изотопов по обогащению ксенона-136. Использование значительного количества ксенона-136, произведенного в Курчатовском институте и на комбинатах ЭХЗ и УЭХК [3], привело к открытию чрезвычайно редкого процесса – двухнейтринного двойного бета-распада ^{136}Xe на установке ЕХО в Нью-Мексико, США [4].

Принципиальный вопрос каждого проекта по поиску безнейтринного распада – выбор стабильного изотопа из 36, для которых возможен такой распад. До сих пор в самых чувствительных установках использовались изотопы, которые нарабатывались наиболее эффективным центрифужным методом. В результате максимальная чувствительность $T_{1/2} > 1.9 \cdot 10^{25}$ лет была достигнута в эксперименте Гейдельберг-Москва с 10 кг ^{76}Ge . Изотоп был произведен в Институте молекулярной физики Курчатовского института.

Очень перспективным изотопом является неодим-150. У него одна из самых больших энергий перехода и высокий заряд ядра, что приводит к максимальному фазовому фактору, определяющему наряду с ядерным матричным элементом вероятность перехода. Расчеты показывают, что интенсивность безнейтринных процессов для ^{150}Nd при фиксированной массе нейтрино выше, чем для других изотопов. Однако, ^{150}Nd не имеет летучего соединения, необходимого для газовых центрифуг. В настоящее время в мире известно о наличии примерно 50 г неодима-150, полученного чрезвычайно дорогостоящим электромагнитным методом. Стоимость полученного таким способом изотопа, согласно международным каталогам, составляет 20 \$/ мг. Разумеется, использовать такой метод для создания установок, где должны содержаться десятки килограммов ^{150}Nd нереально. Однако, неодим можно обогащать гораздо более экономичным и производительным методом лазерной сепарации, где используется селективная ионизация испаренных атомов

неодима лазерным излучением. Пионерами в разработке метода лазерного разделения являются советские физики. Недавно опубликованный отчет о первых работах в ИМФ в этом направлении, составленный Я.А. Смородинским, Л.П. Кудриным, В.М. Новиковым, В.Л. Блинкиным и утвержденный академиком И.К. Кикоиным, относится к 1968 году. В ИМФ впервые был произведен лазерным методом один грамм неодима-150 с обогащением 70% [5].

Юрий Владимирович выступил с предложением о развертывании в Курчатовском институте работ по подготовке эксперимента по поиску безнейтринного двойного бета-распада, которые будут объединять производителей изотопа неодим-150, экспериментаторов, создающих детектор для регистрации безнейтринного перехода и теоретиков. При этом Юрий Владимирович подчеркивал, что в мире существует большая потребность в неодиме-150. Так, на установке SNO (Онтарио, Канада) после измерения потока солнечных нейтрино на основе реакции по развалу дейтрона в нейтральном канале, предложенной Юрием Владимировичем, на новой стадии работы для поиска безнейтринного перехода предполагается использовать несколько сот килограммов природного неодима в фазе наночастиц, растворенных в сцинтилляторе. Применение высокообогащенного неодима позволит увеличить чувствительность на порядок. Аналогичные планы существуют и для установки «BOREXINO» в Гран-Сассо, Италия.

Доклады на международных конференциях о работах, проводимых в НИЦ «Курчатовский институт» по созданию установки для поиска безнейтринного двойного бета-распада ^{150}Nd [6–8] неизменно встречают интерес научной общественности. Можно высказать уверенность, что это перспективное направление, объединяющее лазерную технику и физику элементарных частиц, для становления которого так много сделал Юрий Владимирович Гапонов, будет успешно развиваться. Российский фонд фундаментальных исследований сформулировал и уже в течение ряда лет финансирует междисциплинарную программу «Фундаментальные и междисциплинарные

проблемы физики нейтрино», которая, по сути, продолжает многие работы, начатые Ю.В. Гапоновым.

Литература

1. Ю.В. Гапонов, Л.В. Инжечик, С.В. Семенов. Изотопы и фундаментальные проблемы физики слабых взаимодействий. В кн. «Изотопы. Свойства. Получение. Применение», ред. В.Ю. Баранов, М., Физматлит, 2005, Часть II, с. 7.
2. Ю.В. Гапонов. К истории открытия стабильных изотопов. В кн. «Изотопы. Свойства. Получение. Применение», ред. В.Ю. Баранов, М., Физматлит, 2005, Часть I, с. 38.
3. С.В. Семенов, А.В. Тихомиров, А.Я. Балыш, А.В. Курочкин, В.В. Хрущев. Исследование двойного бета-распада ^{136}Xe . XV Международная конференция «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул». Звенигород, 2012 г., Перспективные материалы, Специальный выпуск №14, стр. 428.
4. Ackerman N. et al. Observation of Two-Neutrino Double-Beta Decay in ^{136}Xe with the EXO-200 Detector. Phys. Rev. Lett. 2011, v. 107, 212501, p. 1-5.
5. Бабичев А.П., Григорьев А.И., Григорьев И.С., Доровский А.П., Дьячков А.Б., Ковалевич С.К., Кочетов В.А., Кузнецов В.А., Лабозин В.П., Матрахов А.В., Миронов С.М., Никулин С.А., Песня А.В., Тимофеев Н.И., Фирсов В.А., Цветков Г.О., Шаталова Г.Г. Разработка лазерного (АВЛИС) метода получения весовых количеств высокообогащенного изотопа ^{150}Nd . Квантовая электроника, 35, №10, 879, 2005.
6. V.Ya. Panchenko, Yu.V. Gaponov, V.P. Labozin, M.A. Polikarpov, G.O. Tsvetkov. Laser Isotope Separation of Neodymium. http://www.aspera-eu.org/images/stories/national_days/russian/panchenko_tsvetkov-1.pdf
7. В.И. Алешин, А.М. Бакаляров, А.Я. Балыш, А.Б. Дьячков, А.В. Лабозин, С.М. Миронов, В.Я. Панченко, С.В. Семенов, В.А. Фирсов, Г.О. Цветков, Г.Г. Шаталова. Российский эксперимент по поиску безнейтринного двойного бета-распада ^{150}Nd . XV Международная конференция «Физико-

химические процессы при селекции атомов и молекул», Звенигород, 2012 г., Перспективные материалы. Спец. вып. №14, стр. 421, февраль 2013.

8. А.Ya. Balysh, A.B. D'yachkov, A.V. Labozin, S.M. Mironov, V.Ya. Panchenko, S.V. Semenov, V.A. Firsov, G.O. Tsvetkov, G.G. Shatalova. Preparation of experiment for search of $0\nu 2\beta$ decay of ^{150}Nd . Book of Proc. 4-th Intern. Conf. «Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy», Kyiv, September 3-7, 2012, NPAE-Kyiv 2012, p. 349.

Вспоминая Ю. В. Гапонова

Е. Х. Ахмедов

Как и многие другие ученики Юрия Владимировича Гапонова, я познакомился с ним через оперную студию "Архимед" физического факультета МГУ. Летом 1969 года, когда после окончания второго курса я работал в составе целинного студенческого строительного отряда физфака МГУ в Казахстане, комиссаром нашего отряда был Юра Юдин, который в то же время являлся начальником штаба "Архимеда". Однажды Юра сказал мне, что бессменный осветитель оперной студии Жора Леммерман заканчивает физфак и уходит, так что эта должность вакантна. Поскольку было желательно, чтобы осветителем был человек довольно высокого роста, а я этому критерию удовлетворял, Юра пригласил меня поработать осветителем в "Архимеде". Я физфаковскую оперу уже несколько раз слышал до этого, и был от нее в полном восторге, и конечно согласился - я был готов работать в "Архимеде" кем угодно - осветителем, рабочим сцены, в общем, кем скажут. Так осенью 1969 года я оказался на репетиции хора оперы "Архимед" в гостиной на 6-м этаже зоны "Б" общежития физиков в Главном Здании МГУ. Там в меня немедленно вцепился главный режиссер "Архимеда" Юрий Владимирович Гапонов (просто Юра для всех архимедовцев) и стал меня расспрашивать о том, чем я интересуюсь, что мне нравится, чем хотел бы заниматься и т.д. Впоследствии, я узнал, что это была Юрина обычная манера - он очень любил знакомиться с новыми людьми, и всегда пытался понять, чем они дышат. После разговора Юра предложил мне поучаствовать в репетиции хора, попеть вместе с остальными ребятами, что я и сделал. По окончании репетиции Юра сказал, что осветителя они найдут другого, а я буду петь в хоре "Архимеда". Так я попал в "Архимед", в котором остаюсь и поныне, хотя сейчас по объективным причинам вижу с моими архимедовскими друзьями редко и в спектаклях довольно давно не участвовал. На мой взгляд, бывших архимедовцев не бывает (как и бывших представителей некоторых других профессий). Но это уже совсем другая история.

В середине третьего курса студенты физфака выбирают специализацию и распределяются по кафедрам, и зимой

1969/1970 года мне предстояло такое распределение. Поскольку Юра знал физфак очень хорошо, я решил с ним посоветоваться перед распределением. Юра мне рассказал в общих чертах, чем занимаются на каждой из кафедр, и меня заинтересовало то, чем занимался он сам – теоретическое исследование процессов слабого взаимодействия в атомных ядрах. Возможно, это произошло просто потому, что каждый человек может описать наиболее увлекательно то, чем занимается он сам. Юра тогда пригласил меня к себе на преддипломную практику в Курчатовский Институт (КИАЭ), где он работал в знаменитом секторе-10 – теоретическом секторе руководимом А.Б. Мигдалом. По Юриному совету я должен был поступить на любую кафедру Отделения ядерной физики физфака, а затем распределиться к нему в КИАЭ для преддипломной практики и работы над дипломом. Я так и сделал, выбрав кафедру Космических лучей.

С этого времени и (с 2-летним перерывом на работу в Ташкенте) до осени 1991 года я делил с Юрой комнату сначала на 3-м этаже здания здравпункта КИАЭ, где находился сектор А.Б. Мигдала, а с 1990 года в здании 333 рядом с главной проходной Института. В нашей комнате на 3-м этаже здравпункта стоял продавленный диван, были шкаф и полки с книгами, доска для обсуждений, и два стола – Юрин и мой. Телефон наш был спарен с телефоном в соседней комнате, где сидели Эдуард Саперштейн и Виктор Ходель. Когда звонили кому-то из них, а трубку брали мы, мы стучали им кулаком в (довольно тонкую) стенку, чтобы они взяли трубку, и соответственно наоборот.

Раз в неделю в секторе бывал семинар, который проходил в широком коридоре нашего крыла здания. Там ставили доску, и каждый приходил со своим стулом. На семинаре заслушивались работы, сделанные в секторе, а также выступали приглашенные докладчики. Вспоминается довольно яркое выступление Владимира Ильича Когана с некоторыми образными выражениями (женщин в секторе не было).

Одно из первых ярких воспоминаний – научное обсуждение в кабинете А.Б. Мигдала, битком набитом сотрудниками сектора. Часть народа стоит в дверном проеме, а студенты вроде меня слушают из соседней комнаты («предбанника») сквозь открытую

дверь. Сам А.Б. в красивом голубовато-сером костюме, курит сигарету и пепел с нее не сбрасывает, а сдувает. О чем шла речь сейчас уже не припоминаю, но помню, что обсуждение шло в основном между А.Б. и Витей Ходелем.

Атмосфера в секторе была чрезвычайно приятной – рабочей и доброжелательной, молодежь могла просить советов и помощи у любого сотрудника (а не только у своего непосредственного руководителя) и всегда их получала. Мне тогда все это казалось в порядке вещей. Только гораздо позже, когда мне пришлось поработать в ряде европейских стран, я понял, что так бывает не всегда и не везде.

Юра Гапонов в это время занимался разработкой теории процессов слабых взаимодействий в ядрах в рамках теории конечных Ферми-систем, развитой А.Б. Мигдалом совместно с рядом его учеников и сотрудников, а также исследованием приложений этой теории. Мне Юра порекомендовал литературу для изучения теории Мигдала, а в качестве темы дипломной работы предложил рассмотреть процессы испускания нейтрино при столкновении двух нейтронов в нейтронных звездах, где обычный распад нейтрона запрещен принципом Паули из-за существования электронного моря с большой энергией Ферми. Сечения этих реакций я вычислил, но незадолго до защиты обнаружил, что в моих расчетах был расходящийся интеграл с особой точкой в области интегрирования. Я этот интеграл взял формально и не сразу заметил его расходимость. Ситуация была катастрофической – до защиты диплома оставалось несколько дней. Юра тогда мне очень помог. Мы проводили с ним целые дни, пытаясь понять физическую причину расходимости и найти приемлемое решение. Иногда мы ходили вместе ужинать в кафе "Экспромт" неподалеку от Института, где обсуждения продолжались за ужином, а потом возвращались в Институт и продолжали работать до 10 – 11 часов вечера. Так иногда случалось и потом, после защиты диплома, когда мы работали над какой-то непростой проблемой.

Наконец объединенными усилиями проблема была решена, причина расходимости найдена и физически обоснованная регуляризация интеграла проведена. Дипломная работа была исправлена и напечатана машинисткой, но возникла другая проблема. Был выходной день и все переплетные мастерские

были закрыты, а срок подачи напечатанного и переплетенного диплома был в ближайший понедельник, т.е. на следующий день. К счастью, один из Юриных учеников, Витя Тихонов, занимался в свободное время переплетением книг и имел необходимое оборудование. Я поехал к Вите домой за помощью. Оказалось, что это был Витин день рождения, но, несмотря на это, он оставил на время гостей и переплел мне экземпляр дипломной работы, который я должен был на следующий день представить в Совет. За это я Вите, по сей день, очень благодарен. Надо сказать, что взаимопомощь была (и остается) очень развита в нашем кругу. Было ли это влияние Юры, который сам всегда был готов помочь и многим реально очень помогал, или просто Юра окружал себя людьми, для которых желание помочь было естественно, сейчас трудно сказать.

После окончания Университета я два года проработал в Институте Ядерной Физики АН УзССР в пригороде Ташкента, а в 1975 году вернулся в Курчатовский Институт, сначала как прикомандированный стажер-исследователь, а в 1976–1979 гг. – как аспирант. Формально я был аспирантом МИФИ, куда поступил по рекомендации В.М. Галицкого, который сменил на посту начальника сектора-10 А.Б. Мигдала, ушедшего во вновь образованный Институт Теоретической Физики им. Л.Д. Ландау. Однако реально я работал все в том же десятом секторе, преобразованном к этому времени в две лаборатории – теоретической физики и многочастичных систем, и продолжал делить комнату с Юрой Гапоновым. Так наше сотрудничество с Юрой возобновилось. Моим официальным руководителем был В.М. Галицкий, но из-за его занятости (он к этому времени не только руководил бывшим десятым сектором, но и стал начальником Отделения Общей и Ядерной Физики) обсуждения с ним были довольно редкими, и я работал в основном с Юрой.

Темой моей кандидатской диссертации было обобщение гипотезы частичного сохранения аксиально-векторного тока, которая является важной составляющей так называемой киральной динамики, на случай процессов в ядрах. Обсуждения этой темы у нас с Юрой велись практически в ежедневном режиме. Нам удалось показать, что обобщение этой гипотезы на ядерный случай возможно, и что существенную роль в этом обобщении играет, так называемый, пион-нуклонный сигма-член.

По результатам этой работы мы с Юрой написали две статьи (одну из них в соавторстве с Игорем Мишустинным) и еще одну статью я написал сам. Из наших работ, в частности, следовало, что так называемый индуцированный псевдоскалярный формфактор слабого взаимодействия нуклонов, который может быть измерен в процессах обычного и радиационного захватов мюонов на ядрах, должен быть подавлен по сравнению с захватами на свободном протоне. Впоследствии это предсказание было подтверждено в экспериментах на мезонной фабрике TRIUMF в Ванкувере (Канада).

Во время моей работы над диссертацией наши отношения с Юрой были скорее равноправными отношениями двух коллег, чем отношениям аспиранта и руководителя. Юра никогда не пытался давить авторитетом, и разница в возрасте и положении никогда не играла большого значения. Исключения касались только того, что Юра, как человек с большим опытом, мог дать очень полезные советы не только в научной, но и в общечеловеческой сфере. Это относилось не только ко мне, но и к другим Юриным ученикам. Иногда у нас с Юрой возникали некоторые разногласия, в частности, о том, как писать статью и как излагать материал. И здесь обсуждения велись на равных, никаких попыток давить авторитетом с Юриной стороны не было. Вспоминаю, что мы обсуждали черновой текст одной из статей во время поездки оперной студии "Архимед" для выступления в Институте физики высоких энергий в Протвино. Мы с Юрой сидели на задних сидениях автобуса Икарус и спорили на повышенных тонах до хрипоты, к большому удивлению остальных членов оперной студии, ехавших в том же автобусе.

В дальнейшем наши научные интересы с Юрой немного разошлись. Юра продолжал заниматься ядерной физикой, в частности процессами слабого взаимодействия в ядрах, в то время как меня стали больше интересовать элементарно-частичные аспекты электрослабых взаимодействий. Но наши обсуждения различных физических проблем, как и внешние научные контакты, не прекратились. Мы по-прежнему делили комнату в КИАЭ и принимали активное участие в деятельности оперной студии "Архимед" (которая к этому времени переехала в Дом Культуры Курчатовского Института и которой Юра по-

прежнему руководил). Юра также привлек меня к участию в подготовке Дней Физика КИАЭ, которые он организовывал и которые проводились раз в год. Через него я также познакомился с очень интересными людьми в Художественной студии КИАЭ и в Театре пантомимы при ДК КИАЭ, которым руководил Гедрюс Мацкявичус.

Юра Гапонов был чрезвычайно разносторонним человеком, с удивительно разнообразными интересами - от физики и ее истории (включая историю советского атомного проекта) до музыки, литературы и сценического искусства. Юра также опубликовал очень интересные воспоминания о физическом факультете МГУ в 1950-е годы. Я уверен, что эти аспекты Юриной деятельности, включая Юрино участие в "Архимеде" и в организации студенческих строительных отрядов МГУ, а также Дней Физика на физфаке МГУ и в КИАЭ, будут широко освещены в этом сборнике. Мне же хотелось бы здесь подробнее остановиться на некоторых сторонах Юриной научной деятельности.

Одним из главных направлений Юриных научных исследований была физика нейтрино (любовью к которым Юра заразил и меня). Многие Юрины работы касались нейтринной физики, но, пожалуй, наиболее важной из них была статья о расщеплении дейтрона при неупругом рассеянии на нем нейтрино, написанная им совместно с И.В. Тютиным. Такой процесс возможен благодаря процессам слабого взаимодействия, обусловленным нейтральными токами. Статья была написана в 1964 г., т.е. за 3 года до статьи С. Вайнберга, где существование нейтральных токов предсказывалось как неизбежное следствие предложенной в этой работе (и независимо в работах Ш. Глэшоу и А. Салама) единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий, и за 9 лет до экспериментального открытия нейтральных токов!¹ Тем не менее, структура взаимодействия, обусловленного нейтральными токами, и величина константы взаимодействия были угаданы в статье правильно, и рассчитанное в ней сечение реакции выдержало проверку временем: нынешнее значение сечения отличается от значения,

¹ Эффекты нейтральных токов в других процессах ранее рассматривались в работах С. Бладмена, Я.Б. Зельдовича, С.С. Герштейна с соавторами и некоторых других авторов

полученного Гапоновым и Тютиным, всего на несколько процентов (отличия обусловлены учетом эффектов отдачи нуклонов, а также радиационных поправок и мезонных обменных токов).

Важность реакции нейтринного расщепления дейтрона обусловлена тем, что она нечувствительна к типу участвующих нейтрино (т.е. нейтринному "флейвору"); рассмотренная совместно с процессами, которые от типа нейтрино зависят, эта реакция является чувствительным индикатором нейтринных осцилляций. Именно эта реакция нейтрино-расщепления дейтрона была использована как один из способов регистрации солнечных нейтрино в эксперименте в Нейтринной Обсерватории в Садбери (Канада). Это позволило экспериментаторам напрямую установить, что солнечные нейтрино осциллируют, и этим поставить финальную точку в решении знаменитой проблемы солнечных нейтрино - наблюдаемом дефиците потока этих нейтрино по сравнению с предсказаниями теории. Заметим, что такой дефицит был предсказан на основе гипотезы нейтринных осцилляций Б.М. Понтекорво и впервые наблюдался в эксперименте Р. Дэвиса и сотрудников, а затем и в ряде других экспериментов. Нейтрино-расщепление дейтрона возможно также в потоке антинейтрино; такой процесс и возможности его использования для детектирования реакторных антинейтрино рассматривались в работах Юры выполненных в соавторстве с О. Бычуком и Д. Владимировым.

Важным вкладом в теорию нейтринных процессов являются также работы Юры (совместно с В. Тихоновым и Ю. Добрыниным) по когерентному рассеянию нейтрино на атомах. Когерентные процессы чувствительны к квадрату числа рассеивающих частиц (а не просто к их числу), что должно приводить к значительному увеличению сечения рассеяния. Детектирование нейтрино за счет когерентных процессов рассеяния пока не было осуществлено, но работы в этом направлении ведутся в ряде российских и зарубежных лабораторий.

Юра также получил немало других важных научных результатов, в частности, им совместно с Ю. Лютостанским была развита теория гигантского Гамов-Теллеровского резонанса в ядрах и правильно предсказаны положение и силовая функция

этого резонанса за несколько лет до его экспериментального обнаружения. К этим работам примыкают также работы Юры и его учеников по приближенной вигнеровской $SU(4)$ -симметрии в атомных ядрах. Важные результаты были также получены в Юриных работах по радиационному распаду нейтрона (совместно с Р. Хафизовым), по захвату мюона поляризованными ядрами (совместно с А. Барабановым, Б. Данилиным и Н. Шульгиной), по индуцированному 2β -распаду (совместно с С. Семеновым, Л. Инжечиком и Р. Хафизовым) и во многих других работах.

Помимо чисто научных исследований, Юра также много занимался научно - организационной деятельностью. Он, в частности, организовал на базе Курчатовского Института ежемесячный общемосковский семинар по физике нейтрино. Чтобы избежать проблемы с оформлением пропусков, семинар проводился в парткабинете КИАЭ вне территории института. Руководителем семинара был И.И. Гуревич, а Юра был его ученым секретарем, но практически вся организация семинара, подбор докладчиков, оповещение и приглашение участников и т.д., проводились Юрой. Семинар посещали сотрудники, аспиранты и студенты научных учреждений и ВУЗов не только Москвы, но и Московской области. В числе его участников были выдающиеся ученые, в частности, нередким гостем на семинаре был Б.М. Понтекорво.

Юра был очень увлекающимся человеком, в хорошем смысле этого слова; за что бы он ни брался, он все делал с большой энергией и энтузиазмом и умел заразить своим энтузиазмом окружающих. Юре очень нравилась педагогическая деятельность - он любил учить и учился при этом сам. Вспоминаю образовательные семинары по различным аспектам физики, которые он организовывал вначале на квартире своей мамы, а потом дома у Наташи Шульгиной (многие участники семинара не имели пропуска в Курчатовский Институт). На семинаре иногда выступал сам Юра, иногда - другие участники и приглашенные докладчики. Мне эти семинары были очень полезны.

С осени 1991 года я в основном работал в Западной Европе, и мои контакты с Юрой стали более редкими. Мы иногда обменивались посланиями по электронной почте и встречались

во время моих приездов в отпуск в Москву. Весной 2009 по моему приглашению Юра приехал в Институт Макса Планка по Ядерной Физики в Гейдельберге, где я работал и продолжаю работать, и выступил на семинаре нашего Отделения, а в октябре того же года я приехал на празднование Юриного 75-летия в Москву. Юра, как всегда, был очень бодрым и энергичным. Ничто не предвещало его неожиданного ухода, последовавшего в декабре...

Вот пишу про Юру «был» и каждый раз спотыкаюсь на этом слове. Очень трудно поверить, что его больше нет. Мне Юры очень не хватает, и я уверен, что это чувство разделяют все те, кому посчастливилось его близко знать.

О работе Ю. В. Гапонова в ПАК по ядерной физики ОИЯИ

В. А. Бедняков

Решением 83-сессии Ученого Совета ОИЯИ (от 15 января 1998 г.) Юрий Владимирович Гапонов был назначен членом Программно-консультативного Комитета ОИЯИ по ядерной физике. Начиная с этого времени и до своей преждевременной кончины, он был постоянным и активным членом этого Комитета. Работая в нем, он выполнял различные обязанности и функции. Он вел заседания ПАК-а, руководил дискуссиями (был председателем), выступал на заседаниях с комментариями и разъяснениями, неоднократно рецензировал проекты, выдвигаемые различными группами сотрудников для финансирования в рамках Проблемно-Тематического Плана ОИЯИ. Особо положительное его отношение испытывали сотрудники ЛЯП и ЛЯР, деятельность которых по физике нейтрино и редких процессов (это в ЛЯПе) и по физике сверхтяжелых элементов (в ЛЯР), он всегда очень конструктивно, доброжелательно и одновременно критически поддерживал и пропагандировал. К работе Юрия Владимировича в ПАК-е привлек и пригласил Ц.Д. Вылов, который был Директором ЛЯП (1989-1992), а затем и вице-директором ОИЯИ (1992-2005). На этой должности Ц.Д. Вылов отвечал за развитие ядерно-физического направления исследований в ОИЯИ. ПАК по ядерной физике было как раз тем авторитетным органом, консультациями и поддержкой которого дирекция Института, в лице Ц.Д. Вылова, пользовалась при проведении в жизнь научной политики ОИЯИ в данной области. Та же логика развития событий не исключает, по-видимому, и участия в привлечении Ю.В. Гапонова к работе в ПАК-е академика Ю.Ц. Оганесяна, бывшего в то время директором ЛЯР и руководившего работами по синтезу сверхтяжелых элементов в ОИЯИ. Насколько я могу судить по воспоминаниям моих встреч и разговоров с Ю.В.Гапоновым, он очень с большим интересом относился к деятельности по синтезу сверхтяжелых элементов, в особенности в контексте искусственного производства для этой цели новых редких и сверхчистых изотопов в Курчатовском Институте. Со

стороны ОИЯИ этим ПАК-ом руководил Ц. Вылов, а Ю.В. Гапонов в нем работал вместе с другими известными и заслуженными учеными (Юлиус Дойч, Шанталь Бриансон, Наталия Янева, Р. Брода, А. Собичевский, Г. Мюнценберг, Я. Добеш, Б. Хаас). Они много хорошего сделали для укрепления позиций физики нейтрино и редких процессов в ОИЯИ. Они внесли свой позитивный вклад в долгосрочную программу исследований флеровской Лаборатории ядерных реакций, недавние успехи которой – новые элементы флеровий и лаверморий – стали безусловным свидетельством правильности выбранного и поддержанного ПАК-ом направления исследований.

Спасибо Юрию Владимировичу Гапонову за это!

Ю.В. Гапонов в моей жизни

В. А. Бедняков

Если начинать с необходимых формальностей, то следует сказать, что Юрий Владимирович Гапонов родился 3-го сентября 1934 года в Свердловске. На физический факультет Московского Государственного Университета он поступил в 1952 году. Его студенческие годы прошли в период «Хрущевской оттепели». Он был одним из главных вдохновителей-организаторов знаменитой физфаковской студии «Архимед».

Ю.В. Гапонов – широко-известный физик-теоретик, профессор, доктор физ.-мат. наук, до конца своих дней заместитель директора Института молекулярной физики Российского Научного Центра "Курчатовский институт", ведущий научный сотрудник Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории Ядерных Проблем им. В.П. Дзелепова ОИЯИ. Он работал в области физики нейтрино и слабого взаимодействия, нейтронной и ядерной физики, физики тяжелых и сверхтяжелых изотопов, он автор более 120 научных работ. В последние несколько лет своей жизни Ю.В.Гапонов вел исследования по физике майорановских нейтрино, физике изотопов, теории двойного бета-распада ядер и астрофизическим проблемам, связанным с происхождением и свойствами тяжелых и сверхтяжелых ядер. Параллельно им был выполнен ряд важных научно-организационных и научно-исследовательских работ, в том числе связанных с историей советского атомного проекта. За время работы в ОИЯИ (2004–2009 гг.) по этим направлениям им опубликовано более 20 научных работ. Несколько лет назад, стремясь разобраться в проблеме абсолютных значений масс нейтрино, Ю.В. Гапонов сильно заинтересовался, как он говорил, майорановской теорией нейтрино. Он предложил новый подход к этой проблеме, основанный на применении, так называемой, паулиевской группы преобразований. Ему удалось показать, что в таком подходе наиболее вероятна нормальная иерархия нейтринных масс, а их абсолютные значения близки и лежат в интервале 0.05-0.4 эВ. Он также нашел связь этих масс со значениями углов смешивания нейтрино. Однако итоговая работа Ю.В. Гапонова по этой тематике, к сожалению, так и не успела

увидеть свет. Как физик-ядерщик Юрий Владимирович уделял особое внимание физике изотопов, связанной с проблемой двойного бета-распада ядер. Он тщательно следил за состоянием дел в экспериментальной области и принимал участие в развитии общей теории превращения ядер с испусканием двух бета-частиц (2-бета переходы). При этом собственно физика изотопов была основной темой его работы как руководителя ИМФ РНЦ «Курчатовский институт». Предложенный им метод вычисления ядерных матричных элементов двухнейтринных 2-бета переходов был с успехом проверен на установке NEMO-3. В настоящее время он широко применяется в теоретических расчетах. Юрий Владимирович снискал себе всемирную известность своим теоретическим предсказанием Гамов-Теллеровского резонанса. В последнее время, в связи с открытием в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова новых ядер сверхтяжелой области, им была начата программа исследований по теории астрофизического происхождения сверхтяжелых элементов. Им был обоснован новый механизм образования этих ядер во взрывах сверхновых звезд. Эта важная и очень интересная работа также осталась незаконченной. Ю.В. Гапонов был заместителем директора Института молекулярной физики РНЦ «Курчатовский институт», членом Ученого Совета РНЦ «КИ». Он долгие годы работал в экспертном совете по физике ВАК России, многие диссертации сотрудников ОИЯИ (и не только) прошли через его внимательные руки. Он был членом НТС Росатома РФ, экспертом научного совета Президиума РАН «Физика нейтрино и нейтринная астрофизика» и научным экспертом Росатома, секретарем Нейтринного Совета РАН и сопредседателем общероссийского семинара по истории советского атомного проекта. Он много сил отдал исследованиям по этой проблеме и особенно разъяснению широкой общественности роли в ней Игоря Васильевича Курчатова. Юрий Владимирович был искренним другом Объединенного Института Ядерных Исследований, ему во многом мы обязаны плодотворным контактам ОИЯИ с РНЦ «КИ», долгие годы Ю.В. Гапонов был членом Программно-консультативного комитета по ядерной физике, причем одним из самых активных и доброжелательных его членов.

Теперь несколько менее формально.

Юрий Владимирович Гапонов был фигурой международного масштаба, его ценили и уважали не только в России, но и за рубежом. Он был желанным гостем в институтах стран участниц ОИЯИ и не только ОИЯИ. Так, его очень хорошо знали в институте Нильса Бора в Копенгагене, куда ездил почти каждый год. Он часто бывал в Германии, в институте Макса Планка (Гайдельберг) и других известных международных центрах, где читал лекции по физике нейтрино, физике тяжелых и сверхтяжелых элементов, истории науки и великих физиках, таких, например, как Этторе Майорана и И.В. Курчатов. Не один раз мы с Федором Шимковицем на средства нашего гранта ОИЯИ и Словацкая республика организовывали ему поездки в Словакию и Чехию для участия в научных мероприятиях (рабочих совещаний коллаборации НЕМО-3 и т.п.) и для выполнения совместных работ, выступлений, чтения лекций. Например, в конце ноября 2006 года Ю.В. Гапонов было приглашен на факультет математики, физики и информатики института Комениуса в Братиславе для чтения лекций по проблемам физики слабых взаимодействий. Кроме этого, мы тогда начали более тесное сотрудничество с этим университетом в рамках нового направления «Массивные нейтрино и двойной β -распад». Примечательно, что на факультете ему был выделен отдельный офис для работы с соответствующим оборудованием, о чем он вспоминал особенно тепло и охотно. Ю.В. Гапонов был редактором, автором обширного предисловия и вдохновителем (вместе с Ц. Выловым) издания на русском языке первой книги немецкого профессора Г.В. Клапдор-Кляйнротхауза (в соавторстве с К. Гротцом) «Слабые взаимодействия в физике ядра, частиц и астрофизике». Весь, к сожалению, немногочисленный тираж ее очень быстро пропал с прилавков. Книга была очень своевременная и достаточно легкая для чтения. Я думаю, что этот первый опыт издание в «новой России», как теперь называют, текстбука – полноценного и многопланового учебного пособия по бурно развивающейся и самой современной тематике. С одной стороны эта книга послужила началом заполнения того огромного пробела, что образовался в научной литературе в России, а с другой – открыла путь проникновения

Г.В. Клапдор-Кляйнротхауза, как популярного и весьма квалифицированного автора в нашу страну. Его две последующие книги «Неускорительная физика элементарных частиц» и «Астрофизика элементарных частиц», уже переведенные на русский язык и, изданные мною, тоже быстро стали бестселлерами. Они были востребованы как нашими учеными специалистами в данной области, так и студентами и аспирантами. Все эти книги были написаны для широкого круга читателей (неспециалистов в теоретической физике) и содержали практически всю доступную информацию по данной тематике. Ряд моих знакомых (из Курчатковского института, из ИТЭФ и ИЯИ) выкупали у меня десятки экземпляров этих книг, и использовали их в качестве современных учебных пособий для обучающихся у них студентов и аспирантов. Безусловно, всегда велика роль авторов и содержания книги, однако, я считаю, что без усилий Ю.В. Гапонова и Ц.Д. Вылова – первыми понявших необходимость и организовавших перевод и издание такой нужной в России книги, ничего бы не было сделано. Не мудрено, что авторы книги (Клапдор-Кляйнротхауз и Гротц) в своем предисловии к ней на русском языке выражают глубокую признательность, как они пишут, своему коллеге Ю.В. Гапонову из Курчатковского Института за деятельное участие в издании русского перевода книги. Пример с этой книгой показывает, как Ю.В. Гапонов в достаточно непростых условиях умел увидеть перспективу, почувствовать правильное направление, найти, заметить, понять и поддержать нетривиальных и талантливых ученых. Я не могу в этой связи себя сравнивать с проф. Клапдор-Кляйнротхаузом, но в период моей работы над докторской диссертацией (середина 1999 г.) я постоянно ощущал поддержку Юрия Владимировича. Наши контакты с ним побудили меня просить его стать моим официальным оппонентом, но как выяснилось уже потом, он не смог им быть в силу своей работы в ВАК-е. По этой причине он организовал мне помощь в получении отзыва ведущей организации, как раз Курчатковского Института, где по его просьбе мне была предоставлена возможность выступить и рассказать мои диссертационные результаты. Его самого тогда не было на моем докладе, но присутствие его, поддержку, спокойную уверенность и оптимизм его я ощущал постоянно. Я практически ничего не знаю

конкретного о работе Ю.В. Гапонова в нейтринном совете РАН в качестве секретаря этого совета. Может потому, что не застал прежний период высокой активности совета, может потому, что вся наша наука в то время выживала самостоятельно, и обсуждение нейтринных, да, и, пожалуй, любых других научных задач на государственном уровне было бессмысленно и бесперспективно в силу отсутствия нормального финансирования. Я знаю только то, что Ю.В. Гапонов работал там много и отдавал себя этой, как и, впрочем, любой другой, работе полностью. Вероятно, он первым где-то на рубеже 2005 года почувствовал свежий ветер возможных положительных перемен и интенсивно занялся подготовкой новой программы нейтринных исследований в России, на базе тесного взаимодействия Курчатовского Института, ИЯИ и ОИЯИ. Именно он инициировал, так называемый, Мегапроект «Нейтрино и нейтринная космофизика», который был подписан в 2005 году тремя руководителями Е.П. Велиховым (за РНЦ «КИ»), В.Г. Кадышевским (ОИЯИ) и В.А. Матвеевым (ИЯИ РАН). Эта работа Ю.В. Гапонова, как я теперь могу судить, стала началом возрождения координации нейтринных исследований в России, возрождением конструктивной работы нейтринного совета, долгое время руководителем которого был академик РАН Бруно Понтекорво (Дубна), 100-летие которого мы отмечаем в 2013 году. По иронии судьбы, или благодаря каким-то упоминаниям обо мне самого Ю.В. Гапонова, об этом я могу только гадать, но именно мне Г.В. Домогацкий (нынешний председатель этого совета) предложил заменить Юрия Владимировича на посту секретаря нейтринного совета РАН, и, я надеюсь, достойно продолжить его работу. Юрий Владимирович работал по совместительству и у нас в ЛЯП-е в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии. Название этого отдела ЛЯП несколько уже устарело, сегодня это, по существу, отдел неускорительной нейтринной физики. Здесь ведутся работы по самым интересным для Ю.В. Гапонова направлениям – физике нейтрино и слабых взаимодействий. Здесь, посредством поиска безнейтринного двойного бета-распада ряда изотопов мы пытаемся выяснить природу нейтрино – майорановская это частица (т. е. неотличима от своей античастицы) или частица Дирака (нейтрино и антинейтрино – разные частицы). А это

именно тот вопрос, который на моей памяти волновал Ю.В. Гапонова особенно сильно. Это была его любимая тема последних лет. Понятен его интерес к этому ЛЯП-овскому отделу, который он неоднократно называл самой лучшей нейтринной лабораторией на всем постсоветском пространстве. Похоже, Юрий Владимирович очень не любил портфели и солидные сумки. Как я ни старался, так и не смог вспомнить его с портфелем в руках. Заходил он всегда в мой кабинет легкой, уверенной и (если так можно сказать) доброжелательной походкой, говорил что-то с неизменно приветливой улыбкой на устах. Практически, всегда он был вместе с его неизменной тряпочной сумочкой. В этой знаменитой сумочке (почти авоське) он носил все нужные ему бумаги и документы – от очень важных писем и рабочих рукописей статей до каких-то (может быть даже случайных) газет и журналов. По-моему, даже к В.Г. Кадышевскому (который был тогда директором ОИЯИ) он ходил с этой его знаменитой сумкой. Понятно, когда нечего было в ней нести, ее легко было засунуть в карман, чтобы не мешалась. О влиянии Ю.В. Гапонова на мои научные работы можно судить по одному забавному эпизоду. На стене, в коридоре Лабораторного корпуса ЛЯП, у двери моего кабинета я повесил для всеобщего обозрения (и наглядной агитации) привезенный из ЦЕРН-а где-то в районе 2001 года по тем временам красочный плакат (он и сейчас, не такой уже и красочный, весит у меня на двери) под названием «История Вселенной». И надо же было такому случиться, что по пути из кабинета В.Б. Бруданина (бывшего в то время заместителем директора ЛЯП) по направлению к выходу из нашей Лаборатории Юрий Владимирович Гапонов и Цветан Вылов оба остановили свой взгляд на этом плакате. Как потом показало расследование, в кабинете В.Б. Бруданина, помимо всего прочего, они обсуждали вопрос о необходимости издания сборника статей и о важности редких и сверхчистых изотопов (особенно производимых в Курчатовском Институте) в науке, медицине, промышленности и т. п. За издание этой книги как раз отвечал Ю.В. Гапонов. Предполагалось в ней дать максимально полную информацию по этому вопросу. Материала было подготовлено уже много (какие бывают изотопы, как их получают сегодня, что с ними делают, и т.п. и т.д.). Не хватало, как неожиданно, глядя на мой плакат, поняли оба – Цветан и

Юрий Владимирович – ответа на вопрос: откуда и как вообще появились изотопы в ранней Вселенной? Дальнейшие их действия были когерентны, они просто открыли мою дверь, вызвали меня в коридор и указали на плакат, где фигурировало понятие Большого Взрыва. «Ты, теоретик» – сказали они почти хором – указывая на Большой Взрыв – «вот и напиши нам, как из этого возникли изотопы». Буквально так, под давлением обстоятельств (... и хороших людей) родился для этой книги мой обзор «О происхождении химических элементов», где с точки зрения современной физики и астрофизики была сделана попытка описать начальный этап процесса образования и возникновения изотопов в нашей Вселенной. Собирая материал для этой статьи-воспоминания про Юрия Владимировича Гапонова, я нашел среди своих записей файлы, раскрывающие, как мне кажется, его многогранную личность еще с одной стороны. Речь идет о его работе в Высшей Аттестационной Комиссии. Как-то в сентябре 2002 г. зашел ко мне Юрий Владимирович и попросил посмотреть программу кандидатского минимума по специальности физика атомного ядра и элементарных частиц (01.04.16). Я уже не помню, почему он ко мне обратился с этим вопросом, или он готовил новую программу, (и это было какой-то промежуточный ее вариант) или просто собирал мнения, не знаю. Одно мне было очевидно, программа давно устарела – еще мы по ней сдавали кандидатский минимум в середине 80-х годов прошлого века, и ее модернизация была совершенно необходима. Я, конечно же, согласился посмотреть этот документ. Потратил ближайшие выходные, пытаюсь улучшить (модернизировать, обновить, осовременить) предложенный вариант программы - минимум, однако, к большому сожалению, в результате пришел к выводу, что нужна совершенно новая и более современная программа. Я написал об этом Юрию Владимировичу, аргументируя необходимость кардинальной модификации. Я считал, что кандидатский экзамен по специальности должен обеспечить определенный (достаточно высокий) уровень знаний претендентов на звание кандидата физико-математических наук по данной специальности и способствовать более эффективной их работе в дальнейшем. Поскольку программа предполагалась быть одной и той же, как для теоретиков, так и для экспериментаторов, то, мне казалось, она должна быть более

общей, т.е. без излишних сугубо теоретических и экспериментальных деталей. С другой стороны, теоретикам (претендующим на «кандидатство» по специальности физика ядра и элементарных частиц) очень неплохо было бы понимать, хотя бы в общих чертах, что и как происходит в экспериментальной части их науки. Эта логика полностью применима и для экспериментаторов – они должны, хотя бы приблизительно, понимать, что происходит в их науке в теоретическом плане. Поэтому, я считал, что в кандидатский минимум обязательно надо добавить, хотя бы в форме понятий, такие позиции, как астрофизика, космология, образование элементов в ранней Вселенной и Звездах, сверхтяжелые элементы, генерация энергии. А также Стандартная модель и ее проверки, Механизм Хиггса образования масс элементарных частиц; выход за рамки Стандартной модели и роль редких процессов; Физика и астрофизика нейтрино. В экспериментальной части, я думал, что надо добавить, как минимум, вопросы моделирования физического эксперимента, использование стандартных пакетов программ для этих целей; роль коллайдеров, другие источники частиц сверхвысоких энергий, типа космических лучей и т.п. К сожалению, я не помню, чем кончилась наша переписка по этому вопросу, я так и не нашел каких-то следов ее продолжения. Тем не менее, даже если Ю.В. Гапонову не удалось что-то сделать тогда в этом направлении, то, я думаю, тому были веские причины. Как-то летом, кажется 2006 или 2007 года, Ю.В. Гапонов решил провести в Дубне несколько дней (может неделю, другую), чтобы спокойно поработать и отдохнуть. Тогда, если мне не изменяет память, для сотрудников Курчатовского Института в Дубне была квартира, в которой они могли жить, это уже позже, квартиру аннулировали и все приезжающие-командировочные проживали как все – в отеле «Дубна». Так вот, Юрий Владимирович тогда приехал в эту квартиру с супругой. И когда мы обсуждали его приезд, меня удивило, как он о ней отзывался. Казалось странным, что главная ее характеристика в его устах была – добрый, хороший человек. Это выглядело необычно и одновременно трогательно. Лично я больше не встречал людей, так отзывавшихся об самых своих близких людях. Юрий Владимирович был замечательным, по истине, добрым

человеком, всегда спокойным, уравновешенным, оптимистичным, ему совершенно были чужды какие-либо интриги и сплетни, он был выше этого, он был настоящим российским ученым, его волновала только физика - в последнее время физика нейтрино Майораны. При каждом появлении в Дубне он всегда привозил с собой что-то новое, новые результаты, новые идеи. До сих пор выглядит чудовищной нелепостью, что 21 декабря 2009 года скоростно не стало Юрия Владимировича Гапонова. Эта утрата особенно тяжела своей непостижимой неожиданностью – буквально, за 3 дня до этого, 18 декабря 2009 года, он был в Дубне, в Доме Культуры «МИР». Он поздравлял наших сотрудников с 60-летием Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Дзелепова. Он говорил об истории создания синхроциклотрона и Лаборатории, он говорил о Курчатове и его роли, он говорил о нейтрино. Он желал нам добра, он был тогда еще с нами ...

Его жизнь остановилась на полпути, на ходу, он был полон творческих планов, он хотел приехать в Дубну как можно скорее – сразу после празднования нового 2010 года, чтобы, наконец, начать обсуждать свою модель майорановских нейтрино. Не успел. Как жаль, что не войдет он больше своей уверенной походкой в кабинет и не произнесет, как всегда с улыбкой, добрых слов приветствия, и не начнет делиться своими достижениями и планами. Его больше нет. Мы будем всегда помнить этого светлого, замечательного человека, его доброту и искренность, его целеустремленность и преданность физике.

Роль Ю. В. Гапонова в установлении сотрудничества ОИЯИ-КИ, создание объединенной теоргруппы.

В. А. Бедняков

Видимо, с ознакомительного визита 6 января 2004 года президента РНЦ «Курчатовский институт» Е.П. Велихова в ОИЯИ началась работа по установлению сотрудничества РНЦ «КИ» и ОИЯИ (в эпоху новой российской действительности). В то время такое сотрудничество рассматривалось как путь к укреплению научных и экономических позиций как самого РНЦ «Курчатовский институт», так и ОИЯИ на принципах взаимной выгоды и взаимной поддержки.

По результатам этой встречи в Курчатовском Институте было издано распоряжение Президента «КИ». В нем говорилось, что в Дубне состоялась встреча руководства РНЦ «Курчатовский институт» и международного научного центра ОИЯИ, по результатам которой было принято решение о подготовке Договора о научном сотрудничестве Центров по перспективным проблемам фундаментальной и прикладной физики и создание объединённого Координационного совета. В качестве основных направлений для сотрудничества было предложено рассматривать нейтронную и ядерную физику; физику слабых процессов и конденсированных сред, ускорительную технику и ядерную медицину, а также компьютерные технологии. Для подготовки Договора и организации работы Координационного научного совета РНЦ «Курчатовский институт» - Объединенный институт ядерных исследований, президент РНЦ «КИ» включил в состав этого совета от РНЦ «КИ» 7 человек во главе с Барановым В.Ю (сопредседатель Совета) и Шитиковым Ю.Л. (ученый секретарь Совета). Зам. директора ИМФ Гапонов Ю.В. (член этого Совета) был назначен специальным представителем РНЦ «КИ» в ОИЯИ, на него была возложена основная задача координации работ по подготовке Договора и его реализации. Забегая вперед, можно сказать, что именно это назначение оказалось решающим в работе Координационного Совета. При самом активном участии Юрия Владимировича уже 9 июня 2004 в Дубне прошло первое совместное заседание Координационного научного совета РНЦ «Курчатовский институт» и ОИЯИ,

посвященное обсуждению вопросов развития сотрудничества между двумя научными центрами. От ОИЯИ в работе совещания приняли участие В.Г. Кадышевский, Ц. Вылов, сопредседатель координационного совета Г.Д. Ширков, В.М. Жабицкий, В.И. Фурман, А.В. Белушкин, М.Г. Иткис, В.В. Воронов, В.Н. Швецов, В.Б. Бруданин; от РНЦ «Курчатовский институт» – сопредседатель координационного совета В.Ю. Баранов, Н.В. Знаменский, А.А. Оглоблин, В.П. Мартемьянов, Ю.В. Гапонов, П.А. Алексеев, Ю.Л. Шитиков. В ходе заседания его участники представили основные направления деятельности подразделений РНЦ «КИ» и ОИЯИ, включая новые темы сотрудничества. Главное внимание тогда было уделено проекту ИРЕН, в котором заинтересованы оба научных центра. Кроме того, состоялось обсуждение таких направлений совместной деятельности, как наработка изотопов для фундаментальных исследований, промышленности, медицины; физика конденсированных сред; исследования экзотических легких ядер; кластерная радиоактивность; ядро-ядерные взаимодействия на малых расстояниях; двойной бета-распад; физика редких процессов; исследования фундаментальных свойств нейтрона; нейтринная физика.

В результате впервые была согласована программа Основных направлений и тем совместных научных исследований Российского научного центра «Курчатовский институт» и Объединённого института ядерных исследований. Она включала 35 позиций с указанием названий работ и конкретных исполнителей с каждой из сторон. Ряд этих пунктов просто фиксировал уже имевшееся взаимовыгодное и многолетнее сотрудничество, некоторые же были совершенно новые, перспективные. К сожалению, лично я, в силу работы в другой области, достаточно плохо себе представляю степень глубины, плодотворности и перспективности такого сотрудничества в сфере нейтронной, ядерной физики, физики конденсированных сред, ускорительной техники и ядерной медицины. Однако в области физики высоких энергий, физики слабых взаимодействий и компьютерных технологий – заложенные в то время основы сотрудничества оказались очень важными и плодотворными. Достаточно упомянуть совместное участие в эксперименте

ALICE на Большом адронном коллайдере LHC в ЦЕРНе, эксперименты по поиску двойного бета распада Ca-48, Ge-76 и Nd-150, в организацию последних внес большой личный вклад Ю.В. Гапонов. Далее следует упомянуть регистрацию солнечных нейтрино в рамках проекта Bogexino, поиск и исследования нейтринных осцилляций - проект Double Chooz и китайский проект Daya Bay, где тоже «присутствует курчатовская рука» Юрия Владимировича. Особенно плодотворное развитие получили упомянутые в этих документах совместные работы по поиску магнитного момента нейтрино на Калининской АЭС, развитию компьютерных технологий и современных средств передачи информации, в особенности в контексте распределенных систем вычислений и хранения информации (грид). На этом первом заседании КС Ю.В. Гапонов обратил особое внимание присутствующих на необходимость развития современной теории, в частности расчетов матричных элементов 2β -распада и теории майорановского нейтрино. Он не просто об этом говорил, он действовал. Одним из 35 пунктов сотрудничества было конкретное предложение Юрия Владимировича об организации структуры для совместных исследований по развитию теоретического описания майорановских свойств нейтрино и двойного безнейтринного бета-распада. По сути дела он был инициатором конкретного международного сотрудничества по этой тематике – в группу входили Ю.В. Гапонов (ИМФ), В.Б. Воронов, В.А. Кузьмин (ЛТФ), В. Бедняков (ЛЯП), Ф. Шимкович (Словакия) и сотрудники соответствующих подразделений ЛТФ и ЛЯП ОИЯИ. Второе заседание координационного совета ОИЯИ - РНЦ «КИ» прошло 13 мая 2005 г. в Москве, в ИМФ (РНЦ «Курчатовский Институт») в его работе мне уже пришлось принимать непосредственное участие. Ю.В. Гапонов и Г.Д. Ширков были сопредседателями данного заседания. Сначала обсуждалось состояние дел по проекту ИРЕН, который, к стати говоря, был завершен в 2012 году, и эта установка сегодня работает в ОИЯИ. Затем перешли к обсуждению состояний дел по пунктам основных направлений совместных исследований РНЦ «КИ» – ОИЯИ. По поводу исследования свойств ультрахолодных и холодных нейтронов, поиску эффектов за рамками стандартной модели электрослабого взаимодействия и измерению времени

жизни нейтрона выступали Ю.В. Гапонов, В.П. Мартемьянов и В.Н. Швецов. Было отмечено, что в связи с результатами группы А.П. Сереброва (ПИЯФ), ситуация с определением времени жизни нейтрона усложнилась. Необходимы новые, независимые измерения, которые уже проводятся с участием обеих сторон. В этой связи хочется отметить, что физика нейтрона всегда была в зоне особого интереса и внимание Юрия Владимировича, практически всегда, когда он приезжал в Дубну, он непременно бывал в Лаборатории Нейтронной физики и, заходя к нам в ЛЯП, всегда что-то сообщал нового про нейтрон. В связи с уникальными результатами эксперимента Daya Bay по исследованию нейтринных осцилляций в пучках реакторных антинейтрино и измерению в 2012 г. угла смешивания Θ_{13} , уместно вспомнить, что как раз на этом заседании КС РНЦ «КИ» - ОИЯИ Ю.В. Гапонов говорил о Российском Мега-Проекте по нейтринной физике, соответствующих контактах на уровне Велихова – Фурсенко – Академии Наук, где в частности, были запланированы совместные работы по этому Китайскому проекту. Далее Ю.В. Гапонов рассказал об участии РНЦ «КИ» – посредством производства изотопов – в проекте GERDA. Он проинформировал, что В.Ю. Баранов в этом направлении контактирует с заводами-изготовителями, и все работы по проекту GERDA ведутся непосредственно под контролем Е.П. Велихова. Отметим, что сегодня этот эксперимент, пожалуй, самый успешный эксперимент по поиску безнейтринного двойного бета распада ядер германия, в котором участвуют сотрудники ОИЯИ, ИЯИ и РНЦ «КИ». Замечу, что на этом же КС В.П. Мартемьянов и В.Б. Бруданин доложили об успешных совместных контактах по подготовке к измерению магнитного момента нейтрино на Калининской атомной станции. Эти исследования уже тогда рассматривались в качестве особо перспективных, в частности в направлении придания им прикладного характера - создания специального помещения для нейтринного мониторинга ядерных процессов работы атомной станции. Сегодня работы на КАЭС ведутся полным ходом, получены уникальные результаты по магнитному моменту нейтрино, впервые напрямую измерен спектр реакторных антинейтрино, готовится проект создания там специализированной многоплановой нейтринной лаборатории.

Обсуждая успешное сотрудничество РНЦ «КИ» с ОИЯИ в области теоретических исследований по физике слабого взаимодействия, Ю.В. Гапонов проинформировал Совет о новых достижениях в развитии теории майорановского нейтрино. Были также отмечены совместные усилия в области расчета матричных элементов 2β -распада, что представляет очень непростую задачу, в особенности для интересных с точки зрения эксперимента атомных ядер (типа Ge и Nd). В качестве конструктивного следствия работы этого КС и личных усилий Юрия Владимировича, отмечу нашу с ним конкретную попытку создания группы теоретического исследования свойств нейтрино в рамках Сектора элементарных частиц ЛЯП ОИЯИ, с участием теоретиков Курчатовского Института. В качестве обоснования необходимости такой группы мы вместе с ним написали письмо на имя тогдашнего директора ОИЯИ А.Н. Сисакяна. В нем говорилось, что Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джелепова является пионером исследования физики слабых взаимодействий в ОИЯИ. Нейтринная физика – традиционная область деятельности ЛЯП ОИЯИ, является ее отличительной чертой. Здесь получен ряд выдающихся научных результатов. Целый комплекс фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований по физике нейтрино был выполнен в Лаборатории академиком Б.М. Понтекорво и под его руководством. В 1957 г. в Дубне он высказал идею о возможности существования осцилляций нейтрино, т.е. превращения одного вида нейтрино в другой, что допустимо при наличии у нейтрино хотя бы очень маленькой массы. Существование осцилляций нейтрино означает не только то, что у нейтрино есть ненулевые массы. Легкие массивные нейтрино – это ключ ко многим тайнам нашей Вселенной (недостатку потока нейтрино от Солнца, эволюции звезд, взрывам сверхновых, проблеме так называемой темной или скрытой материи, образованию космических лучей сверхвысоких энергий и т.д.). Изучение осцилляций нейтрино наряду с поиском безнейтринного двойного бета-распада ядер является основным направлением современной нейтринной физики. Эти два фундаментальных эффекта – нейтринные осцилляции и безнейтринный двойной бета-распад – позволят определить главные свойства нейтрино (дираковские или майорановские,

массы и смешивание) и имеют ключевое значение для современной теории элементарных частиц, астрофизики и космологии. Современные ускорительные и неускорительные эксперименты в области физики частиц, направленные на прецизионное определение различных физических наблюдаемых, позволяют вести поиск новых явлений за рамками Стандартной модели и получать важные ограничения на такие явления. В ЛЯП ОИЯИ все время проводились и проводятся передовые эксперименты по физике нейтрино – это НЕМО (двойной бета распад), ГЕММА (нейтринный магнитный момент, когерентное рассеяние нейтрино), БАЙКАЛ, ТУС (космические нейтрино, темная материя), «Нейтринный Детектор ИФВЭ-ОИЯИ», НОМАД, НАРП, ОПЕРА, Daya Bay (поиск и исследование нейтринных осцилляций, взаимодействие нейтрино с веществом), БОРЕКСИНО (проблема солнечных нейтрино, магнитный момент и т.п.) и другие. В 1980 г. для разработки физической программы исследований по нейтринной физике на установке «Нейтринный Детектор ИФВЭ-ОИЯИ» в отделе Физики элементарных частиц ЛЯП (рук. С.А. Бунятов) был организован сектор теоретических исследований (рук. П.С. Исаев). Теоретическим исследованиям свойств нейтрино и взаимодействия нейтрино с ядрами до этого всегда уделялось в ЛЯП большое внимание (Б.З. Копелиович, А.В. Тарасов, Г.И. Лыкасов, Ю.П. Иванов и др.). В Лаборатории проводились всесторонние исследования возможных проявлений новой физики в ускорительных и неускорительных экспериментах, например таких как, двойной безнейтринный бета-распад ядер или поиск галактических частиц темной (скрытой) материи (С.Г. Коваленко, В.А. Бедняков и др.). Эти исследования в области слабых взаимодействий и неускорительной новой физики послужили фундаментом для дальнейших экспериментальных работ ЛЯП в этом направлении, в частности, на самом современном уровне с учетом последних достижений теории в области суперсимметрии (SUSY), лептокварков и т.п. обоснована необходимость и важность исследования процессов безнейтринного двойного бета-распада. В ЛЯП было показано, что эксперименты по безнейтринному двойному бета-распаду значительно более чувствительны к определенным проявлениям SUSY, чем другие уже идущие или только планируемые

ускорительные и неускорительные эксперименты (С.Г. Коваленко). С теоретической точки зрения проблема массы нейтрино привлекала к себе особое внимание за все время существования современной физики элементарных частиц. Она стимулировала создание ряда интересных подходов, значимость которых лежит далеко за пределами не только физики нейтрино. Популярная в настоящее время SUSY модель с нарушенной R-четностью может служить хорошим примером нового подхода к проблеме нейтринных масс. Здесь нейтрино приобретают ненулевые массы на древесном уровне за счет смешивания с гейджино и хиггсино уже на электрослабом масштабе. Следует подчеркнуть, что этот механизм не затрагивает физики больших энергетических масштабов (10^{12} ГэВ), как это имело место в известном see-saw механизме, а наоборот, определяется свойствами нейтрино на электрослабом масштабе, физические проявления которого поддаются экспериментальной проверке. В теоретическом секторе ЛЯП накоплен большой опыт работ в области физики слабых взаимодействий, физики нейтрино и новой физики за рамками Стандартной модели, из него вышли лидеры нескольких направлений современной новой физики. Всемирно известны, выполненные в Курчатовском Институте, работы по физике нейтрино (нейтринным осцилляциям и безнейтринному двойному бета распаду германия), физике слабого взаимодействия, исследованию (электрослабых) свойств нейтронов. В настоящее время по известным причинам интенсивность этих работ заметно спала, в то время как интерес в целом к нейтринной физике и астрофизике наоборот сильно возрос в силу получения новых и прецизионных данных. При этом, несмотря на огромный экспериментальный и теоретический интерес в нейтринной тематике, в целом, очевиден недостаток теоретических работ по физике нейтрино в России. Тем не менее, такие работы есть, так, например, Ю.В. Гапоновым был предложен принципиально новый подход к описанию майорановских свойств нейтральных массивных частиц. На базе этого подхода им впервые в мире были получены оценки майорановских масс реальных нейтрино и установлена их связь между углами смешивания. Эта связь имеет принципиальное значение для более глубокого понимания свойств нейтрино и для планирования новых нейтринных экспериментов, как по

исследованию нейтринных осцилляций, так и по поиску безнейтринной моды двойного бета-распада ядер. Сохранение накопленных в ЛЯП ОИЯИ традиций в области «теории нейтрино», продолжение начатых в РНЦ «КИ» новых и интересных работ по этой проблеме, в частности, выяснение области применимости предложенной модели майорановских нейтрино, возможностей и перспектив ее экспериментальной проверки, безусловно, являются актуальными задачами, для выполнения которых, а также для закрепления приоритета российских ученых, необходима концентрация совместных усилий всех заинтересованных сторон. В связи с необходимостью расширения дальнейших работ по этому направлению, обеспечению регулярности общения участвующих в таких работах сотрудников ОИЯИ и РНЦ «КИ», а также для привлечения новых участников предлагается создать в рамках ЛЯП ОИЯИ специальную группу для работы по проблемам теоретической нейтринной физики. Данную группу теоретического исследования свойств нейтрино предполагается составить из сотрудников ЛЯП ОИЯИ (сектора элементарных частиц) и сотрудников Института молекулярной физики Курчатовского института. На первом этапе в состав группы войдут В.А. Бедняков, И.В. Титкова, Г.И. Лыкасов (ОИЯИ) и Ю.В. Гапонов, В.В. Хрущев (Курчатовский институт). В дальнейшем возможно расширение этой группы путем включения в нее заинтересованных сотрудников ЛТФ, ЛЯП, ЛФВЭ, ЛНФ, а также Курчатовского института, ИЯИ и других. План предполагаемых работ группы по нейтринной физике ЛЯП ОИЯИ на 2009-10 гг. включает в себя ряд, достаточно общих направлений: развитие паулиевских моделей майорановских нейтрино и исследование моделей с нарушенной паулиевской симметрией (рук. Ю.В.Гапонов), исследование свойств нейтрино в моделях великого объединения и суперсимметрии (рук. В.А. Бедняков); изучение особенностей использования паулиевской симметрии в квантовой теории поля (В.В. Хрущев); разработка новых методов обработки данных нейтринных экспериментов и проверка правдоподобности различных гипотез с использованием следствий указанных моделей (И.В. Титкова, В.В. Любушкин, Г.И. Лыкасов и др.); предсказание свойств нейтрино (масс, углов смешивания, магнитных моментов) в нейтринных моделях (Ю.В.

Гапонов, В.В. Хрущев, В.А. Бедняков, и др.). Особое место отводилось, на этом настаивал сам Ю.В. Гапонов, систематическим контактам с экспериментальными группами ОИЯИ и РНЦ «КИ» по отмеченным выше направлениям. Это обращение было написано летом 2009 года, тогда мы только начинали формирование этой группы, обсуждали детали с руководством, готовили планы работ и подбирали кадры. Однако, преждевременный уход Юрия Владимировича – главного вдохновителя и организатора этого процесса, резко и, пожалуй, надолго остановил его ...

О Ю. В. Гапонове

Е. Г. Гамалий

С Юрием Владимировичем Гапоновым (далее Юрой) мы познакомились по настоящему в 1953 году, когда стали учиться в одной группе, хотя знали друг друга и на первом курсе, в 1952-ом. Задним числом можно сказать, что Юрин характер, интересы и пристрастия сформировались в основном уже тогда, когда большинство из нас еще барахтались в неопределенности, толком не представляя себе своей будущей дороги, и куда нас кривая вывезет. Юра и тогда, и до конца дней привлекал открытым характером, доброжелательностью, стремлением помочь и терпимостью, чем в молодые годы мало кто мог похвастать. Еще у Юры с самого начала были очевидны организаторские способности и стремление к лидерству, но не любыми средствами не отталкивая людей, а привлекая их. Эти качества, а еще и активная вера в светлое будущее и вера в то что его, Юрина общественная работа это светлое будущее приближает и помогает людям, и сделали, как мне кажется, социальную активность настолько же важной частью Юриной жизни, как и занятия наукой. Мы с Юрой не были близкими друзьями, однако взаимная симпатия возникла уже на втором курсе и, по-моему, сохранилась до конца. В последующие годы время от времени, у нас возникал контакт на какое - то время, потом он прекращался без видимой причины, больше скорее потому, что мы занимались очень разными делами, а затем также спонтанно возобновлялся. В последние годы мы регулярно, хотя и не слишком часто, обменивались письмами по электронной почте, затрагивая разные темы. Примерно дюжина писем сохранилась, о чем я немного скажу позже. Так что то, что следует дальше - это разрозненные отрывки, которые сохранила память. Я, увы, не вел дневника с младых лет, как это делал Юра, поэтому многое забылось. Но вот то, что осталось неизменным – это теплая и светлая память о Юре, присутствие которого в жизни жизнь эту украшало.

Начну со второго курса, когда нас свела общественная работа и учеба в одной группе. Так мы и проучились вместе до окончания. Юра был комсоргом в группе, а я, видимо, старостой.

Осталось несколько фото с групповых собраний, где мы с Юрой витийствуем, убеждая народ сделать нечто общественно полезное, скорее всего, участвовать в субботниках, ходить бороться с хулиганами и т.п. Должен сказать сразу, что главные и убедительные речи произносил Юра, потому что я даже в те суровые годы к общественной работе относился вяло. Главная цель этих собраний и всяких мероприятий была «сплочение группы» как тогда говорилось. Меня гораздо больше увлекали другие дела. Я, как и многие на курсе, был человеком из провинции и, попав в Москву, бросился изо всех сил вместе с друзьями наверстывать упущенное и приобщаться к «мировой культуре»: литературе, музыке (абонементы в консерваторию закупались пачками насколько хватало денег), поэзии, живописи (музеи, выставки) и т.п. Времени катастрофически не хватало, а ведь очень хотелось еще и наукой заниматься, потому что знаний было мало, а пробелов много, сначала одни пробелы и были. Поэтому у меня общественная работа не была во главе угла. Юра считал общественную работу долгом перед страной и делом первой важности, но и тогда проявлял терпимость к тем, кто умеренно отлынивал, занимаясь не только учебой (учеба была приемлемым оправданием отлынивания).

Хочу привести известный мне пример Юриной терпимости по отношению к эпизоду нашей молодости, который он упомянул в мемуарах, правда в слегка измененном виде, поскольку эпизод относился к первому курсу и происходил не на его глазах. Он хоть и не одобрял забавы такого рода, но счел нужным сохранить как характеристику времени. Здесь я должен сделать отступление для того, чтобы было ясно, что за эпизод я имею в виду. Нас приняли на первый курс в 1952 году в расчете на новое здание, которое, однако, сдано в срок не было. Поэтому лекции нам читали в разных местах. Марксизм, например, читался в Большой Анатомической аудитории медицинского института (соседнего со старым МГУ на Моховой), размещенной над анатомическим театром. Она представляла собой просторное полуподвальное помещение, состоящее из серии больших прозекторских комнат с мраморными столами, на которых лежали трупы в разных стадиях разделки. Ясное дело, что в перерывах мы бегали вниз посмотреть все эти диковинные и необычные вещи. Комнаты эти были заполнены студентами-медиками и - медичками, которые в

промежутках между практикой, болтали, шутили, закусывали и флиртовали. Все здание и наши марксистские лекции были пропитаны густым запахом формалина. Понятно, что всё это (не марксизм) производило на нас сильнейшее впечатление. Кто-то из ребят делал фото: на краю мраморного стола сидит милая девушка (за ее спиной вышеупомянутый фон) и весело болтает со стоящим рядом парнем. Такого сорта фото было много и с разнообразными вариациями. Наряду с этими были и другие сильные впечатления, связанные с поглощением огромного количества разнообразного и не всегда хорошо переваренного чтива (Северянин, футуристы, имажинисты, акмеисты и т.п.), которые тоже горячо обсуждались. В результате у Бориса Тверского возникла идея объединить все впечатления, медицинские и литературные, в юмористическом стихотворном сборнике «Тайны склепов и могил», иллюстрированном выше упомянутыми фотографиями, который был подан как якобы публикация трудов забытого поэтического течения, «испражинизм», основанного в начале 20-го века в Бельгии русским поэтом (по моему он был назван Иваном Белкиным). Кроме Тверского среди соавторов поэтических текстов с гробовой и юмористической направленностью был Володя Рясной (пробывший в физиках только год), автор этих строк и еще пара соавторов, которых я, к сожалению, запамятовал. Известный драматург Погодин, бродивший в то время по МГУ в поисках материала для своей пьесы «Маленькая студентка», наткнулся на факультетскую газету, где этот опус критиковался (что сильно способствовало его популярности) и взял оттуда строчки Рясного: «Спросили робко: А вам не надо ль? Я глянул вниз. А там плясала гнилая падаль под вальс каприз». Строчки потом фигурировали в пьесе.

Через много лет я узнал, что Юра сохранил в своем архиве единственный экземпляр этого опуса. Юра довольно рано решил записывать историю нашего курса, что впоследствии отразилось в его мемуарах, к сожалению, неоконченных. В мемуарах наряду с эпохальными событиями вроде комсомольской конференции есть и разные картинки из тогдашней жизни вроде описанной.

Другой эпизод из второкурсной жизни связан с работой бригад СОДМИЛа, одним из организаторов которой был и Юра. Важным видом общественно полезной деятельности считалась

борьба с хулиганством в неблагополучных районах, которых поблизости от нового МГУ было предостаточно. Предполагалось, что команда из 10-12 студентов, патрулирующих улицы, может предотвратить драки, хулиганство, а может и более серьезные преступления. Разумеется, студенты не были вооружены ничем кроме желания принести покой и порядок. Главной и убедительной силой тех отрядов, в которых я ходил, был Женя Глориозов, тогдашний чемпион Союза по самбо. Тогда то место, где сейчас Лужники, было жуткой трущобой: с горы можно было увидеть несколько фонарей на всем видимом пространстве. Вблизи, а ходили мы там по вечерам, это было страшнее: полуразвалившиеся дома, угрюмые плохо одетые, часто пьяные и очень часто опасные люди, отсутствие мощных дорог и забегаловки, где было опасней всего. К счастью для всех эта деятельность быстро угасла и кажется никто из наших не пострадал. Наверное, главным результатом этих и других подобных общественных мероприятий и было «сплочение», более тесное знакомство и сближение всех нас, которого Юра добивался.

Последующие курсы, начиная с третьего, мы были уже значительно больше сконцентрированы на учебе и на новых научных и учебных впечатлениях. Я помню, большой интерес, который у нас в группе вызывали семинары по теории комплексного переменного, вел их Рабинович, и которые потом горячо обсуждались. В центре этих обсуждений всегда был Юра, который был среди сильных математиков в нашей сильной группе, где выделиться было непросто. Несколько позже у него возник и укрепился интерес к тензорному анализу, что сильно помогло ему потом в выбранном им пути - занятиям фундаментальной теоретической физикой.

Последующие годы учения развели нас по выбранным норкам. Меня повело к занятиям прикладной физикой, а Юра занялся фундаментальной наукой, к чему он лучше себя подготовил, да и, самое главное, имел Божий дар. После распределения, я и еще трое наших товарищей из группы, Саша Казанцев, Юра Морозов и Борис Мурашкин, были направлены в «ящик» на Урал, теперешний город Снежинск. Наш путь в строго засекреченный город, а в то время небольшой поселок, лежал через Екатеринбург (тогда Свердловск), где мы должны были

найти явку, получить все бумаги и быть переправлены в П/Я. В Свердловске жили Юрины родители в большой квартире, поскольку Юрин отец был большой начальник на Уралмаше. И Юра со свойственной ему добротой предложил пару дней, необходимых для выполнения секретных процедур к отправке, переждать у него дома. Так что я имел тогда краткую возможность познакомиться немного и с Юриной семьей.

За годы работы в «ящике» особых возможностей для контактов было немного. Даже на встречи курса, если они тогда и проходили, выехать не удавалось. После того как я переехал работать в ФИАН наши контакты стали чаще, и телефонные и на встречах курса. Юра сообщил мне где-то в семидесятых, что он пишет мемуары о наших студенческих годах, и давал читать первые варианты. А однажды он пригласил меня на чтения нескольких отрывков из этих мемуаров, которые проходили на квартире у Владимира и Леры Неудачиных. Запоминающимся на всю жизнь событием остался большой вечер в ЦДРИ, устроенный по поводу Юрино 50-летия, где в большом объеме были представлены «Архимедовские» и «оперные» люди, включая и настоящую солистку Большого театра, а также много друзей и коллег. Наверное, только на этой встрече до меня дошло, какое большое количество самых разных людей любят и ценят Юру. Потом, уже читая последовательные главы его мемуаров, которые он присылал мне в Австралию, я уже ясно себе представлял, что со многими однокурсникам у Юры были близкие, не шапочные, отношения. Поистине надо быть душевно богатым человеком, чтобы быть интересным для людей разного склада и характера.

Так сложилось, что в 1992 году я был приглашен поработать в Австралийский Национальный Университет в Канберре сначала на три года, потом случилось, так что мы с женой осели здесь надолго... Отсюда я время от времени приезжал в Москву на курсовые встречи, где встречался и с Юрой, а в какой-то момент у нас завязалась переписка, продолжавшаяся в течение 5–6 лет до последних дней. В начале переписки Юра рассказал мне о событиях своей научной и общественной жизни, о которых у меня были отрывочные и поверхностные сведения. Меня поразили масштаб и глубина его работы над историей Советского атомного проекта, то, что я знал хорошо изнутри в течение 15 лет работы в

сердце системы. Было очень любопытно и интересно, что он раскопал сведения о научном вкладе Курчатова. Во время своей работы в рамках этого проекта я, конечно, неоднократно находил выдающиеся научные следы Зельдовича, Сахарова, Ландау, Тамма и других, а вот следов научной деятельности Курчатова не встречал. Легенд было множество, в том числе и услышанных от людей с ним работавших и принимавших участие в попивании крепких напитков в бывшем кабинете Курчатова на полигоне. Юра затратил несколько лет самоотверженной работы над этой историей, сумев организовать и две международные конференции на эту тему и сохранив при этом научный потенциал для продолжения работы в физике нейтрино.

Интересными были Юрины рассказы о визитах в институт Бора и о встречах и беседах с Нобелевскими лауреатами Оге Бором и Беном Моттelsonом. Примечательно, что высокий научный потенциал позволил Юре опять переключиться на активную работу по физике нейтрино. При поддержке и понимании со стороны нашего знаменитого однокашника Юра затеял организовать Мегапроект по нейтринной физике российского масштаба. Хочется надеяться, что это его большое начинание будет продолжено и доведено до воплощения в жизнь.

Конечно, в письмах мы обсуждали и делились разными новостями. Мне хотелось, чтобы Юра с женой приехали ко мне в гости, в Южное полушарие, за что я очень сильно его агитировал. Увы, не вышло. Еще одной серьезной темой для обсуждения была нетривиальная книга нашего товарища – одноклассника Виктора Чернухи «Поляризация теория мироздания». Эту книгу Юра оценивал очень высоко и назвал её «завещанием человечеству» до тех времен, когда появятся люди, которые способны понять и оценить написанное в этой книге.

И очень подробно для меня, «пешехода» в физике частиц, объяснял «майорановскую физику нейтральных частиц», «способную не только объяснить нейтринные осцилляции, но и сделать шаг дальше, в теорию масс частиц» (цитата из письма). Очень хочется верить, что есть продолжатели, которые доведут начатое этой светлой головой и доброй душой до конца. Я сохраню до конца дней память о Юре, светлом человеке, глубоком ученом и весьма заметном деятеле в сообществе Российских физиков.

«Я не поэт и не брюнет»

В. Г. Захаров

Этими словами из утёсовского «Одесского порта» ответом на вопрос Олимпийских богов «Так кто же ты?» начинается знаменитая ария Архимеда из одноимённой физфаковской оперы. Так кто же ты, Юрий Гапонов?.. Большой учёный? Режиссёр Большого физического театра оперы и балета? Комсомольский деятель? Организатор и участник конференций? Известно, что талантливый человек талантлив во всём. И никакая Википедия и подробная биография не в состоянии энциклопедически описать все грани таланта. Как ни пиши, а всё равно что-то очень тонкое и очень неуловимое остаётся «за кадром», потому что этих граней бесконечно много. Это как фрактал, который обладает свойством самоподобия, то есть, составлен из многих частей, каждая из которых подобна всей целой фигуре.

Впервые, я увидел Юру в 1964-м, когда пришёл в оперную студию физфака на «должность» пианиста-концертмейстера. Он был много старше меня и прочих новоиспечённых «артистов» оперы, аккуратный, в старом костюме и очень скромный. Тогда ставился «Серый камень», в котором высмеивались юные последователи советского конформизма и ложное понимание приоритета общественного над личным. Юра был одним из авторов оперы. Не обладая вокальными данными, он прекрасно знал музыку. Клавира оперы не было, и Юра мне её напел от начала и до конца. Юрин талант мне раскрывался постепенно. Как пишут в нотных партитурах *rosso a rosso* – в первых репетициях и гастроях: Ленинград, Таллин, Новосибирск. Именно в Новосибирске, в Академгородке, мы вдруг поняли, что имеем дело с большим учёным, и что наша опера занимает в его жизни далеко не первое место, как нам казалось ранее, и что в своём костюмчике и с опытом комсомольской работы он вовсе не серый камень, а личность необыкновенно яркая. Узнали о его активной и бурной деятельности в комсомоле, о борьбе с косностью на физфаке. Узнали о целине, празднике Архимеда и других, лучших физфаковских традициях, к которым Юра имел самое непосредственное отношение, и которых в других вузах не было никогда и нигде. Узнали о частицах, открытых в Дубне и о

Новосибирском детище – ускорителе на встречных пучках, прообразе ЦЕРН-овского Большого коллайдера.

Однажды, сидя перед репетицией в зоне «Б» на огромном и пухлом чёрном кожаном диване, я долго ломал голову над какой-то задачей из «Квантовой механики» Ландау. (Помните, наверное, там после каждого раздела мелким шрифтом было напечатано несколько задач). Незаметно подошёл Юра и тут же эту задачу решил, а потом сразу переключился на оперные темы. И так во всём. Ему по плечу была почти любая задача.

Мог Юра и сильно обидеться. Особенно, когда мы не принимали его идеи по модернизации оперы и новые режиссёрские находки. Тогда он (иногда даже в письменном виде!) делал заявления, что навсегда уходит из оперы. Но в действительности это было как у Эраста Гарина, который будучи королём в фильме «Золушка», многократно срывал с себя корону, бросал её в сторону и кричал «Ухожу! Всё! Правьте без меня!». Юра быстро остывал и никогда ни на кого не держал зла. А это характерно только для великих людей. Не достаточное, конечно, но заведомо необходимое условие.

Словно осмысливая большую прожитую жизнь, Юра начал писать воспоминания, опубликованные ближе к концу его жизни в нескольких номерах «Вопросов истории естествознания и техники». Здесь и разговор о традициях физического искусства, и философские рассуждения о роли науки в жизни человека, и анализ уже далёких пятидесятых и шестидесятых, и размышление об их значении в эволюции всей страны. Ярко и образно описан студенческий быт, порядки в общежитии, роль комсомола, стремления и переживания молодёжи тех лет.

Юра не был членом партии, хотя по своим убеждениям и моральным качествам превосходил многих партийцев с партбилетами. У него не было фальши. Всё было искренне, в высшей степени честно и порядочно.

В застойные семидесятые опера и дни Архимеда были признаны «идеологически невыдержанными» и изгнаны с физфака. Однако, жизнь «Архимеда» продолжалась на сцене ДК Курчатовского института и других сценах страны, где нас по-прежнему любили и знали. Творчество Юры обогащалось новыми формами и содержанием: оперная студия была переименована в Большой физический театр оперы и балета, Юрой ставились и с

неизменным успехом шли «Монологи о физике», «Шизель», балет «Physical Review» и другие спектакли с новыми талантливыми участниками - молодёжью с физфака, пополнившей ряды ветеранов.

Возвращение на физфак в новые времена и выступление в ДК МГУ было триумфальным. Тогда, перед выступлением, выйдя с Юрой на знакомую пустую сцену, я сказал ему: «Знаешь, Юра, я сейчас чувствую себя, как блудная мать Эдвина из “Сильвы”». Она, как известно, став княгиней, вернулась инкогнито в своё родное кабаре, где когда-то блистала; хотела взглянуть на пассию сына. Юра помолчал и сказал: «И у меня очень похожие чувства».

Стремлением к открытости (или, как сейчас модно говорить «прозрачности») можно объяснить и ещё одно его «хобби». Это конференции HISAP по истории атомных проектов. Их было две: в 1996 г., Дубна и 1999 г., Вена. Впервые учёные, журналисты, разведчики, находившиеся когда-то по разные стороны баррикад, встретились и откровенно поговорили друг с другом. Хотел Юра организовать и третью конференцию, но... не получилось. На Венской конференции добрались до 60-х, а потом: ребята, стоп, дальше не надо.

Юра никогда не афишировал свою деятельность, о ней и так все знали - от студентов до академиков. Он и ушёл неожиданно, навсегда перевернув последнюю страницу своей жизни.

Юрий Владимирович Гапонов - ученый и гражданин.

А.В. Кессених, С.В. Семёнов

Вступление

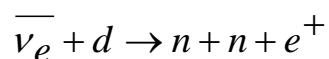
На примере одной замечательной фигуры научного сообщества 1950–1960-х и последующих лет можно показать роль физического факультета Московского Государственного университета (физфака МГУ) в формировании и функционировании научного сообщества физиков СССР в эти годы. При этом мы старались не столько описать собственно научную деятельность выпускника физфака, сколько показать тот дух братства, профессиональной и общественной ответственности, который несли в себе и воплощали в жизнь вызревшие в стенах физфака МГУ физики. Многие и многие выпускники физфака умели без существенного ущерба для своей профессиональной деятельности отдавать своё время и силы как на дело единения коллектива, в котором они трудились, так и в более широком смысле на дело сплочения научного сообщества, придания ему хотя и неформального, но очевидного гражданственного статуса. Сам Юрий Владимирович Гапонов (1934–2009) не отделял себя от коллектива лабораторий и Институтов, где он работал. При этом он умел внести свой вклад в общественную жизнь широкого научного сообщества физиков СССР, воплощением которого для него служили, прежде всего, неформальное сообщество выпускников физфака МГУ, коллектив РНЦ «Курчатовский институт», семинар по истории Атомного проекта СССР, известный коллектив художественной самодеятельности физиков – студия «Архимед». Эту деятельность он начал еще студентом и аспирантом физфака МГУ, где он был в 1960–1961 гг. секретарём комитета комсомола, создателем опер физфака, основателем упомянутой студии «Архимед». Он считал себя последователем тех, кто сумел на IV отчётно-выборной конференции ВЛКСМ физфака МГУ (далее IV конференции) поднять голос «за правду» (см. ниже). Ему удалось воссоздать в своей профессиональной и общественной практике некую модель самосознания коллектива, влитого в более широкий коллектив физиков факультета и, в

конечном счёте, физиков СССР и России, а через связи с Институтом Нильса Бора в Копенгагене и сотрудничество с Оге Бором и во всемирное братство физиков. Подлинность этого уникального «чувства сообщества» заключалась в том, что Юрий требовал, прежде всего от себя, преданности физике, профессионализма в физике и, в то же время, преданности коллективу, умения отдать свой отдых, свой свободный час делу единения этого коллектива, делу повышения авторитета научного сообщества физиков в государстве и обществе в целом. Личность Юрия Владимировича была многогранной. Словом, Ю.В. Гапонов был типичным и в то же время выдающимся представителем тех, кого мы называем «шестидесятники». Всех шестидесятников отличало умение, не теряя профессионализма, проявлять неслабеющий интерес ко многим и многим сторонам общественного бытия. Мы позволим себе уделить внимание рассказу лишь о самом основном в жизни и деятельности Гапонова. Безвременная кончина Юрия Владимировича 21 декабря 2009 г стимулировала это наше намерение.

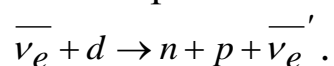
Ю.В. Гапонов – физик.

И всё же именно профессионализм в физике отличал Юрия Владимировича прежде всего. А работать ему пришлось в одной из труднейших и перспективных областей физики. Начало научной деятельности Юрия Владимировича Гапонова совпало со стремительным развитием физики нейтрино, загадочной частицы, постулированной В. Паули в 1930 г. и обнаруженной экспериментально более чем через двадцать лет. В 1953 г. Ф. Райнес и К. Коуэн впервые зарегистрировали поток реакторных антинейтрино (Нобелевская премия 1995 г.). В 1956 г. Ч. Янг и Ц. Ли высказали предположение о несохранении пространственной четности в слабых взаимодействиях (Нобелевская премия 1958 г.), что было экспериментально подтверждено в опытах Т. Ву в 1958 г. В своей дипломной работе, выполненной под руководством профессора И.С. Шапиро, Юрий Владимирович рассмотрел актуальную задачу о проявлении эффектов несохранения чётности в процессах бета-распада ядер. Свои первые работы, начиная с 1957 г., Юрий выполнял в теоретических лабораториях, которыми руководили выдающиеся

физики, в ФИАНе – И.С. Шапиро, в Институте атомной энергии (ИАЭ) – А.Б. Мигдал. В ИАЭ Ю.В. Гапонов работает с 1963 года. Здесь он публикует ряд важных работ по исследованию структуры ядра и ядерного механизма бета-распада на основе теории конечных ферми-систем, развитой А.Б. Мигдалом [1]. Одновременно Юрий Владимирович постоянно обсуждает с экспериментаторами, работающими в области нейтринной физики, наиболее актуальные задачи, связанные с исследованием свойств нейтрино и проблемами его детектирования. В 1964 г. Ю.В. Гапонов совместно с И.В. Тютиным выполняет работу [2], сыгравшую ключевую роль в понимании природы нейтрино и решении существовавшей 30 лет проблемы дефицита солнечных нейтрино. Первые эксперименты по регистрации нейтрино были основаны на таком взаимодействии нейтрино с веществом, когда в конечном состоянии присутствует легкая заряженная частица, заряженный лептон. Это реакции, идущие за счет заряженных токов. В эксперименте Ф. Райнеса и К. Коуэна использовалась реакция поглощения нейтрино протоном: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$. Возникающие в результате нейтрон и позитрон затем участвуют во взаимодействиях, сопровождающихся излучением гамма-квантов, которые регистрировались с помощью фотоумножителей. Приведем цитату из Нобелевской лекции Ф. Райнеса [3], глава «Что дальше?», пункт «Взаимодействие нейтрино с дейтронами»: «В 1956 г. мы начали другое длительное исследование, которое было посвящено изучению взаимодействия нейтрино с дейтронами. В 1969 г. мы, наконец, зарегистрировали [...] так называемую реакцию «заряженного тока»:



и в 1979 г. [...] – реакцию «нейтрального тока»:



Реакция нейтрального тока была до этого открыта на ускорителе в ЦЕРНе в 1973 г. с помощью мюонных нейтрино, но, тем не менее, нам было очень приятно увидеть, что $\bar{\nu}_e$ вело себя ожидаемым образом».

Важная ссылка в Нобелевской лекции Ф. Райнеса – это статья в *Physical Review Letters*, вышедшая 1979 г. [4]. В этой статье её авторы, ссылаются на теоретические работы, в которых

рассматривалось неупругое рассеяние нейтрино на ядрах за счет нейтрального тока. Это работы [2, 5–9] (см. список литературы в нашей статье).

Из данного списка следует, что теоретическая работа 1965 г. Ю.В. Гапонова и И.В. Тютинина [2] является пионерской, самой ранней, опередившей экспериментальное открытие нейтральных токов примерно на десять лет. В ней впервые в мире рассмотрена реакция диссоциации дейтрона на протон и нейтрон в нейтринном потоке, имеющая важнейшее значение для нейтринных исследований.

Измерения потока нейтрино от Солнца, выполненные в Хоумстейке (США) с помощью хлор-аргонового метода коллективом ученых под руководством Раймонда Дэвиса (Нобелевская премия 2002 г.), галлий-германиевым методом на Баксанской нейтринной обсерватории (эксперимент SAGE) и в лаборатории в Гран Сассо (Италия) (эксперименты GALLEX и GNO), методом рассеяния нейтрино на электронах в Kamiokande и SuperKamiokande, показали, что наблюдаемый поток нейтрино составляет 50% от ожидаемого согласно стандартной солнечной модели. Объяснение этого явления следует из теории нейтринных осцилляций, в которой полагается, что определенная доля излучаемых Солнцем электронных нейтрино ν_e переходит в нейтрино других флейворов ² ν_μ и ν_τ , которые не регистрируются ни Cl–Ar, ни Ga–Ge методом, а вероятность рассеяния $\nu_{\mu,\tau}$ на электроне значительно меньше, чем электронных нейтрино. Для того, чтобы измерить полный поток нейтрино от Солнца необходимо использовать реакцию, которая имеет равную вероятность для нейтрино всех трех флейворов $\nu_{e,\mu,\tau}$. Именно такой реакцией является расщепление дейтрона на протон и нейтрон в нейтринном потоке [2]: $\nu_{e,\mu,\tau} + d \rightarrow n + p + \nu'_{e,\mu,\tau}$. Измерения с помощью этой реакции, выполненные на установке SNO (Канада), содержащей 1000 тонн тяжелой воды D₂O, дали значение потока нейтрино, хорошо согласующееся с теоретическими предсказаниями, основанными на модели Солнца [10]. Это убедительно свидетельствует об осцилляциях

²) «Флейвор», или «аромат», – одна из возможных разновидностей (один из возможных типов) элементарной частицы (кварка, лептона, в данном случае – нейтрино).

нейтрино – о преобразовании электронных нейтрино в нейтрино других флейворов.

Признанным специалистом по проблемам нейтрино и строения ядра Юрий Владимирович стал уже к 1970 г., когда ему предложили написать для журнала «Успехи физических наук» фундаментальный обзор по теме «Полный эксперимент в β -распаде» [11]. В 1972 – 1973 гг. Юрий Владимирович совместно с Ю.С. Лютостанским опубликовали работы, открывшие новое направление в физике ядра [12, 13]. Они теоретически предсказали существование в ядре возбужденного резонансного состояния с квантовыми числами 1^+ с энергией возбуждения примерно 10 МэВ – Гамов-Теллеровского резонанса (ГТР) и высказали утверждение о возможности его экспериментального наблюдения. Ранее считалось, что ГТР должен настолько ушириться за счет сильного спин-орбитального взаимодействия, что экспериментально наблюдаться он не будет. Через 8 лет ГТР был обнаружен в экспериментах по перезарядке $^{90}\text{Zr}(p,n)^{90}\text{Nb}$ в США [14] и в реакции $^{90}\text{Zr}(^6\text{Li}, ^6\text{He})^{90}\text{Nb}$, исследованной в ИАЭ им. Курчатова [15]. Приложение теории Гамов-Теллеровского резонанса чрезвычайно широко. Его проявление и свойства необходимо учитывать при определении массовой формулы для сверхтяжелых ядер, при исследовании захвата нейтрино в детекторах солнечных и галактических нейтрино, при построении теории нуклеосинтеза с участием нейтрино и образования тяжелых ядер, при определении возраста Галактики, при изучении нейтронно-избыточных ядер и для нейтринной диагностики ядерных реакторов. Важность учета вклада Гамов-Теллеровского резонанса при расчете интенсивности ядерных процессов, идущих при больших температурах и плотностях на стадии сжатия сверхновой звезды, отмечается в статье Дж.М. Фуллера, Нобелевского лауреата 1983 г. У.А. Фаулера и М.Дж. Ньюмена [16], в которой используются результаты работы Ю.В. Гапонова и Ю.С. Лютостанского [17].

На рубеже XX и XXI вв. пристальный интерес Гапонова вызвала имеющая важнейшее общетеоретическое и космологическое значение задача оценки массы нейтрино. В последнее время он стал выдающимся экспертом по этой проблеме, заместителем директора Института молекулярной физики РНЦ «Курчатовский Институт» по научной работе и

ведущим научным сотрудником ОИЯИ. В этой связи, начиная с середины 1990-х годов, в работах Юрия Владимировича большое место занимает теория двойного бета-распада (см., например, [18]), механизм которого существенно зависит от массы нейтрино. Безнейтринный двойной бета-распад – это реакция, когда в конечном состоянии (для $\beta\beta$ -распада) образуются два электрона и не образуются антинейтрино. Безнейтринный двойной бета-распад возможен только в том случае, если нейтрино обладает ненулевой массой и является майорановской частицей, т.е. совпадающей с собственной античастицей. Прямой эксперимент по наблюдению безнейтринного $\beta\beta$ -распада, доказывающий наличие майорановских свойств нейтрино при отличной от нуля массе этой частицы до сих пор не выполнен. Это объясняется чрезвычайной редкостью событий безнейтринного двойного $\beta\beta$ -распада³, редкостью изотопов, ядра которых могут претерпеть подобный распад, необходимостью проведения крупномасштабных экспериментов на основе больших количеств высокообогащенных стабильных изотопов, производство которых является весьма сложным и дорогостоящим процессом.

Работая в ИМФ с 1995 г., и с 2004 г. - в должности заместителя директора, Юрий Владимирович многое сделал для развития сотрудничества между производителями стабильных изотопов в ИМФ Курчатовского института и ведущими научными центрами, как отечественными, так и зарубежными, где проводятся крупномасштабные международные эксперименты по поиску безнейтринного двойного бета-распада. По инициативе Ю.В. Гапонова впервые перед широкой международной аудиторией состоялся доклад д.т.н. А.В. Тихомирова на Международном симпозиуме в Осака [19], в котором были продемонстрированы возможности центрифужных разделительных мощностей ИМФ и других российских предприятий для получения значительных количеств изотопов, необходимых для нейтринных исследований [20]. При активном участии Юрия Владимировича было организовано

³) Например $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Ti}$; $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se}$ и $^{100}\text{Mo} \rightarrow ^{100}\text{Ru}$, для которых получены экспериментальные ограничения на период полураспада, соответственно, $T_{1/2}(0\nu) > 5,8 \cdot 10^{22}$, $2,1 \cdot 10^{25}$ и $1,1 \cdot 10^{24}$ лет, а естественная распространённость в природе исходного изотопа, соответственно, 0,187%; 7,8% и 9,63% при относительной распространённости соответствующего элемента в земной коре 4,1%; $1,5 \cdot 10^{-4}$ и $1,5 \cdot 10^{-4}$, соответственно [21].

сотрудничество между Департаментом энергетики США, Стэнфордским университетом и российскими производителями изотопов в ИМФ, ЭХЗ и УЭХК с целью наработки изотопа ксенон-136 для проекта ЕХО. В результате заключенного соглашения в Стэнфордский университет из России в 2002, 2003 гг. было поставлено 200 кг этого изотопа с обогащением 80%. Выполненные на установке ЕХО исследования привели в 2011 году к открытию двухнейтринного двойного бета-распада ^{136}Xe , поиски которого велись с 1991-го года в ряде лабораторий мира, и к получению новых строгих ограничений на массу нейтрино.

В настоящее время определена только экспериментальная верхняя граница интенсивности безнейтринного двойного бета-распада. Поэтому в процессе теоретической работы приходится учитывать косвенные данные, полученные во всей совокупности экспериментов – осцилляционных, ядерных, астрофизических. Таким образом, Юрий Владимирович избрал весьма тернистый путь сопоставления тонких теоретических подсчётов с феноменологическими результатами, на который встают немногие исследователи, и который требовал высочайшей квалификации. Признание экспертом в избранной области последовало не только в Институте молекулярной физики РНЦ «Курчатовский Институт», но и в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, куда он был приглашён совместителем, и в Институте Нильса Бора в Копенгагене ⁴. Теоретические оценки масс майорановского нейтрино, полученные Гапоновым, являются адекватными космологическим данным, полученным к настоящему времени.

Как отметил в своем докладе на семинаре памяти Гапонова Ю.С. Лютостанский, в последние годы в цикле работ Ю.В. Гапонова (2004–2009 гг.) был развит новый подход к теории майорановского нейтрино, позволивший понять направление возможного развития Стандартной модели электрослабых взаимодействий. В рамках этого подхода им были даны оценки значений нейтринных масс и новые связи между углами нейтринного смешивания. Развитая теория имеет большое значение для ядерной физики и астрофизики, предоставляя новые возможности объяснения природы скрытой массы во Вселенной.

⁴) Об этом подробно рассказал Ю.В. Линде на семинаре 28 января 2010 г., посвящённом памяти Ю.В. Гапонова.

По Гапонову все нейтрино (электронное, мюонное и τ -нейтрино) имеют массы в пределах: $m_\nu = 0.055 - 0.39$ эВ для $\nu_{e,\mu}$; $m_\nu = 0.055 - 0.41$ эВ для ν_τ ; $3m_\nu = 0.17 - 1.17$ эВ. Если исходить из других теорий, где используются астрофизические данные, сумма масс трёх типов нейтрино < 17 эВ [22].

Вместе с тем, согласно оценкам, полученным из современных экспериментов по поиску безнейтринного двойного бета-распада, эффективная масса нейтрино не превышает ~ 0.4 эВ. Сумма масс нейтрино (согласно косвенным данным эксперимента «Хаббл») составляет $1,3 - 0,67$ эВ.

Из известных теорий, теория Ю.В. Гапонова [23]⁵ дает одну из наиболее близких оценок этих экспериментальных результатов.

Гапонов – летописец истории физики XX века

Работа в одном из передовых направлений физики, активное участие в общественных процессах и тесное содружество со многими и многими физиками от своих студентов до самого Нильса Бора не могли не сделать Юрия Владимировича активным участником создания истории современной физики. При этом его увлекали в основном три аспекта этой истории. Во-первых, это – история Атомного проекта СССР, который явился базой и источником формирования того поколения физиков СССР, к которому принадлежал Гапонов⁶. Во-вторых, это – история самого поколения «шестидесятников» в физике. А она для Юрия Владимировича начиналась с формирования студенческих групп при поступлении на физический факультет (физфак) МГУ [24] и со знаменитого выступления студентов на IV конференции комсомольцев физфака в 1953 г. [25]. Продолжалась эта история в неформальных традициях физфака (см., например [26]).

Наконец, и прежде всего, Гапонов не мог не отдать дань почтения знаменитому и загадочному итальянскому физику

⁵) По материалам презентации к 75-летию Ю.В. Гапонова, использованной Ю.С. Лютостанским также и на семинаре памяти Ю.В. Гапонова

⁶) Об инициативах Гапонова, который был одним из сопредседателей семинара по истории Атомного проекта на базе РНЦ КИ и ИИЕТ в развитии истории Атомного проекта подробно рассказали В.П. Визгин и И.С. Дровеников на семинаре памяти Ю.В. Гапонова. Гапонов был одним из инициаторов и организаторов – зампредом Оргкомитета – конференций по названной Истории в Дубне (1996) и Лаксенбурге (1999), ответственным редактором трёхтомных трудов Дубненской конференции.

Эttore Майорана, заложившему начала идей до сих пор активно развиваемых в физике нейтрино в том числе самим Юрием Владимировичем (см. выше). К сожалению, активная работа над развитием самих этих идей помешали Гапонову создать формально завершённую историко-научную версию вклада Майорана в физику. Тем не менее, Ю.В. Гапонов в 2004 г. [27] написал краткое предисловие к переводу знаменитой статьи Майорана 1937 г. [28]. Он же инициировал публикацию этого перевода в журнале «Физика элементарных частиц и атомного ядра». Блестящий доклад Юрия Владимировича об истории физики нейтрино, с которым он выступил на семинаре по Истории физики и механики при ИИЕТ в 2008 г., остался неопубликованным. Гапонов заметил в ответ на упрёки коллег, что для публикации следовало бы провести ещё большую литературную работу, которая для него была бы несвоевременным отвлечением от основной профессиональной деятельности.

Отдал Юрий Владимирович дань и памяти основателя ИМФ (своего руководителя по КНЦ) И.К. Кикоина [29]. В заключение отметим вклад Гапонова в саму историю научных связей физиков СССР и Нильса Бора, напомним также о его участии в редколлегии сборника [30] и публикации статьи в этом сборнике [31].

Гапонов в общественной жизни и искусстве

Юрий Владимирович вырос в интеллигентной семье и прекрасно знал литературу и музыку. В молодости он немало сил отдал общественной работе, был комсоргом группы, агитатором среди рабочих в Раменках, был секретарём комсомола физфака МГУ, был награждён Медалью за освоение целинных земель. Был, словом, человеком заметным в общественных кругах. Этот опыт сказался в работе Гапонова по организации конференций, редактированию сборников научно-исторических исследований, работе в учёных советах и ВАКе. Но большинство «простых» физиков знало Юрия Владимировича как активного деятеля «физического искусства»⁷. В 2003 г. Московский

⁷) Термин «физическое искусство» был собственно и введен в оборот Ю.В. Гапоновым (см. [32]).

художественный театр под руководством О.П. Табакова поставил пьесу Майкла Фрейна «Копенгаген» о драматической встрече В. Гейзенберга и Н. Бора в оккупированном нацистской Германией Копенгагене ⁸. Встреча происходила под знаком ясного понимания великими физиками будущей разрушительной, можно сказать, угрожающей самому существованию человечества роли атомной энергии, до освоения которой оставалось уже немного. В то же время один из них исходил из того, что атомная бомба будет сделана в нацистской Германии, и с этим приходится смириться, другой же (Нильс Бор) мириться с этим не хотел, казалось бы, вопреки реальности. Научным консультантом замечательной, имеющей большой успех постановки в МХТ был Юрий Владимирович Гапонов.

Гапонов был инициатором публикации режиссёрского варианта текста первой оперы физфака МГУ «Дубинушка» [34]. Мало кто знает, что практически 90% музыкального сопровождения второй оперы физфака «Серый камень» было подобрано именно Ю.В. Гапоновым. Зато созданная им оперная студия «Архимед» широко известна в кругах физиков, действовала при Доме культуры РНЦ «Курчатовский институт» и выступает со спектаклями по настоящее время.

Замечательный многогранный образ Ю.В. Гапонова физика, историка, режиссёра останется навсегда в памяти его коллег и последователей.

Литература

1. Мигдал А.Б. Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер – М.: Наука, 1965. 572 с.
2. Гапонов Ю.В., Тютин И.В. Неупругое рассеяние нейтрино на дейтроне. // ЖЭТФ. 1964Т. 47, Вып. 5(11). С. 1826–1828.
3. Райнес Ф. Нейтрино от полтергейста к частице // УФН. 1996. Т. 166, № 12. С. 1352–1359
4. Pasierb E., Gurr H.S., Lathrop J., Reines F., Sobel H.W. Detection of weak neutral current using fission $\bar{\nu}_e$ on deuterons. // Phys. Rev. Lett.. 1979. Vol. 43. P.96–99.

⁸) О постановке пьесы «Копенгаген» в МХТ в 2003–2004 гг. и её авторе Майкле Фрейне, см. [33].

6. Ahrens T., Lang T.P. Deuteron disintegration neutral currents and antineutrino spectra from fission. // *Phys. Rev. C*. 1971. Vol. 3. P. 979–983.
7. Frahm C.P. Nucleon energy correlation in the antineutrino disintegration of the deuteron. // *Phys. Rev. D*. 1971. Vol. 3. P. 663–670.
8. Ali A., Dominguez C.A. Neutrino (antineutrino) disintegration of the deuteron and the structure of the deuteron and structure of the neutral weak current. // *Phys. Rev. D*. 1975. Vol. 12. P. 3673–3681.
9. Singh S.K. Weak Neutral currents and $\nu(\bar{\nu})$ disintegration of the deuteron. // *Phys. Rev. D*. 1975. Vol.11. P. 2602–2605.
10. Ahmad Q.R. and al . (SNO Collaboration) Direct evidence for neutrino flavour transformation from neutral-current interactions in Sudbury neutrino observatory. // *Phys. Rev. Lett.* 2002. Vol. 89. p 011301–011306 (6 pp.).
11. Гапонов Ю.В. Полный опыт в β -распаде (обзор современных экспериментальных данных). // *УФН*. 1970. Т. 102, вып.1. С. 211–238.
12. Гапонов Ю.В., Лютостанский Ю.С. О возможном существовании 1^+ резонанса в реакциях перезарядки сферических ядер. // *Письма в ЖЭТФ*. 1972. Т.15, вып. 3. С. 173–175.
13. Гапонов Ю.В., Лютостанский Ю.С. Гамов-теллеровский резонанс и вигнеровская схема супермультиплетов. // *Письма ЖЭТФ*. 1973. Т. 18, вып.2. С. 130–132.
14. Banium D.E, Rapaport J., Goodmen C. D. et al. Observation of giant particle-hole resonance in $^{90}\text{Zr} (p,n)^{90}\text{Nb}$. // *Phys.Rev. Lett.* 1980. Vol. 44, Iss.26. P. 1755–1759.
15. Vinogradov A.A., Gluchov Yu. A., Dukhin V.I. et al. Observation of a giant Gamov-Teller resonance in the reaction $^{90}\text{Zr} (6\text{Li}, 6\text{He})^{90}\text{Nb}$. // *Pisma JETP*. 1981. Vol. 33, Iss.4. P. 222–225.
16. G.M. Fuller, W.A. Fauler, M.J. Newman, Stellar weak interaction for intermediate-mass nuclei. II. $A=21$ to $A=60$ // *Astrophys. J.*, 1982, Vol. 252, P. 715-740.
17. Гапонов Ю.В., Лютостанский Ю.С. Гамов-теллеровский изобарический 1^+ - резонанс // *Ядерная физика*, 1974, Том 19, С. 62-74
18. Гапонов Ю.В., Инжечик Л.В., Семенов С.В. Изотопы и фундаментальные проблемы физики слабых взаимодействий. / Сб. *Изотопы: свойства, получение, обогащение*. Под ред. Баранова В.Ю. Т. 2. – М.: Физматлит, 2005. С. 7–44.
19. Tikhomirov A.V. Practice of centrifugal stable isotope separation for experiments in neutrino physics. *Proceedings of the IV Int. Symp. On Weak and Electromagnetic Interaction in Nuclei*, Osaka, Japan, June 12-16, 1995, World Scientific, p. 208-211.
20. Tikhomirov A.V. Development of centrifugal technologies of stable isotope separation in Russia and progress of neutrino physics. *Proceedings*

of 11th Workshop on Separation Phenomena in Liquids and Gases, St. Petersburg, Russia, June 13 –18, 2010, pp 32-37.

21. Emsley J. The Elements. Oxford: Clarendon Press . 2nd edition. 1991. Рус пер.: Эмсли Дж. Элементы. – М.: Мир, 1993. 256 с.

22. Клапдор-Клайнротхаус Г.В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц (пер. с нем.). – М.: URSS, 2002 . 496 с.

23. Гапонов Ю.В. Трехфлейворная паулиевская модель майорановских нейтрино и проблема нейтринных масс. //ДАН. 2008. Т.423, № 5. С. 621–626;

Гапонов Ю.В. Массы майорановских нейтрино в трехфлейворной паулиевской модели. // Ядерная физика. 2011. Т. 74. №2. С. 290–319.

24. Гапонов Ю. В. Отрывки из ненаписанного. // Изначалие. ВИЕТ. 2001. № 1. С.213–234.

25. Гапонов Ю.В., Кессених А.В., Ковалёва С.К. Студенческие выступления 1953 года на физфаке МГУ как социальное эхо атомного проекта. // История советского Атомного проекта: документы, воспоминания, исследования. Вып.2. – СПб : РХГИ, 2002. С. 519–544.

26 Гапонов Ю. В. Отрывки из ненаписанного. // Новое здание. ВИЕТ. 2001. №.2. С.178–202.

27. Гапонов Ю.В. Начало майорановской физики. Памяти Э. Майораны // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2003. Т. 34, вып 1. С.240–241.

28. Majorana E. Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone. // Nuovo Cimento. 1937. V. 14. P.171–184. Рус. пер.: в «Физика элементарных частиц и атомного ядра».2003. Т. 34, вып.1. С. 242–256.

29. Гапонов Ю.В. Рождение традиции. / Исаак Константинович Кикоин. Воспоминания современников. – М., 1998. С.241–251.

30. Нильс Бор и наука XX века. Сб. научн. трудов. – Киев: Наукова думка,.1988. 232 с.

31. Гапонов Ю.В., Грамматикати Т.Ю., Ковалева С.К., Кузнецова Р.В., Рылов С. В. Пребывание Нильса Бора в СССР в 1961 году. / Там же. С.40 – 44.

32. Гапонов Ю.В. Традиции физического искусства в российском физическом сообществе 50-х – 90-х гг. // ВИЕТ. 2003. №3. С. 165–178.

33. http://www.mxat.ru/authors/playwright/m_frein;
<http://www.vmdaily.ru/article/6300.html>

34 . Гапонов Ю. В. Отрывки из ненаписанного. Народно-музыкальная драма «Дубинушка» // ВИЕТ. 2001. № 3. С. 168–186.

Каким был Юрий Гапонов в студенческие годы?!

Г. В. Климушева

В 1952 году наша первокурсная 18 группа Физфака МГУ, в которую входил и Юра Гапонов, очень быстро сплотилась и дружеские связи сохранила на долгие годы. Впервые мы увидели Юру в спортивном лыжном костюме с начесом. Так в то время одевались мальчики, а девочки еще донашивали форменные, школьные, коричневые платья. Нашему сплочению способствовало сразу несколько причин. Одна из них была та, что новое здание МГУ на Ленинских горах в 1952 г. еще не было достроено и нам приходилось группой ездить на занятия в разные районы Москвы. Лекции по физике слушали в старом кирпичном здании во дворе на Моховой 9 или на Моховой 11. На семинары ездили в Сокольники до клуба им. Русакова, рядом с которым был корпус с аудиториями для семинаров. Недалеко был стадион, где проходили занятия по физкультуре. Иногда после занятий мы всей группой ходили в кино. Юра, как и большинство из нас, жил в общежитии и, наверно, поэтому мы любили на праздники собираться группой по-домашнему у кого-нибудь на квартире у москвичей. Обязательными для нас были демонстрации, где мы много пели, шутили, смеялись. Наверно, в согласии со школьными анкетными данными с самого начала комсоргом 18 группы был назначен спокойный и вдумчивый Леня Пыхов, а старостой группы оказалась я. Все наши действия были нацелены на сплочение группы. Мы вместе ездили на занятия, вместе ходили обедать, на комсомольских собраниях обсуждали недочеты по контрольным работам и вместе помогали друг другу усваивать новый материал. Юра старался больше всех помогать в учебе товарищам.

Он еще со школьной скамьи увлекался математикой, в том числе и высшей. Но по рассказам самого Юры в девятом классе он как-то вдруг повзрослел и принялся изучать физику. Начал с «Атомного ядра» Корсунского. И чисто умозрительно пришел к выводу: математика суховата, оторвана от жизни – надо искать свое призвание в науке, которая соединяет математическую красоту с красотой реального мира – в теоретической физике, которой Юра и посвятил свою жизнь после окончания университета.

В марте 1953 года наш курс вместе со всей страной пережили смерть Сталина. Мы глядели из окон химического практикума и видели, как вдали, мимо гостиницы «Москва», везли пушку, тело на лафете и как сзади шли сопровождающие лица. Грянул артиллерийский салют. Все чувствовали, что в стране начинается новая жизненная полоса.

На втором курсе нас ждал поистине завораживающий сюрприз – открылось новое здание МГУ на Ленинских горах. И он совпал со временем начала «оттепели». Осенью состоялась революционная IV комсомольская конференция физфака. Мы сами вдруг захотели реорганизовать в лучшую сторону методы учебной работы, чтобы студенты могли получать новые прочные знания на современном научном уровне. Мы предъявили требования к себе, к качеству личной подготовки и к преподавательскому составу, по поводу организации семинаров и практикумов. Во времена, когда рядом гигантские шаги совершала атомная наука и промышленность, нам показалось странным слушать лекции по физике без единой математической формулы. Мы захотели, чтобы в МГУ на физфаке читали лекции лучшие ученые, педагоги страны. Это и стало началом подъема физического факультета, временем рождения новых традиций. Конференция длилась три дня. Надо отдать должное в то время пятому курсу, они были заводилами. Именно они предложили писать письмо в ЦК. Естественно начальство убеждало нас не делать этого. Но после многочисленных дебатов конференция письмо утвердила, и оно было послано в ЦК. На удивление, реакция сверху практически была мгновенной. ЦК направило на физфак комиссию. Декана сняли, поменялся состав деканата. Лекции пришли читать академики – Ландау, Тамм, Кикоин, Шальников, Арцимович и др. Начиналось новое время – время признания кибернетики, генетики, новых мировых научных открытий.

Уже на втором курсе в обновленной по составу группе № 22 Юра Гапонов был избран комсоргом. Он уже в первом своем выступлении на комсомольском собрании заострил внимание на таких вопросах, как творческое отношение к учебе самих студентов и создание дружного коллектива в группе. Исходя из реального опыта первокурсной 18 группы, Юра предложил выпускать журнал «Крокодил» и в новой группе. Но новая группа

оказалась более индивидуальной, групповые мероприятия – идеал 18 группы, мечта комсорга Юры – не пользовались никаким уважением. Все разбежались после лекций, несмотря на все Юрины интересные предложения. Правда, очередная сессия показала, что группа в учебном процессе оказалась самой сильной на курсе. Но когда состоялся смотр художественной самодеятельности курса, начались спортивные мероприятия, в группе начало возникать дружеское взаимопонимание и даже симпатии. В спорте классно сыгрались футбольные и баскетбольные команды, а Юра увлекся самбо. Коллектив группы окончательно сплотился после похода по Подмосковию. Позже Юра участвовал и в других многочисленных походах курса. Наиболее запомнился всем поход на байдарках по рекам и озерам Мещеры, который сдружились уже студенты разных групп.

А летом после второго курса группами мы работали в колхозе. В своей группе Юра был бригадиром. Целый год он отчаянно выкладывался, создавая коллектив, стремился сдружить группу, боролся что было сил. Но в колхозе ребят, как подменили: они без конца отдыхали, и работа не подвигалась. И когда все меры воздействия и терпение бригадира были исчерпаны, Юра высказал свое отрицательное мнение о человеческом нутре своих товарищей и покинул группу. То ли народ испугался скандала, а, может быть, люди что-то поняли, но работа в колхозе закипела и принимающая сторона осталась довольна помощью.

Так как Юра учился хорошо, то круг его деятельности на физфаке был довольно широк. Так, в 1955 г на физфаке МГУ начало расцветать так называемое «физическое искусство», в котором деятельное участие начал принимать Юра. В это время появился студенческий праздник юмора День рождения «Архимеда» (позже День физика) и одновременно появилась шуточная «физическая» опера-капустник «Архимед». В 1954 г. на сцене Дома культуры МГУ впервые поставили оперу «Дубинушка». Подъем оперного творчества физиков конца 50-х не случайно приходится на начало стройотрядов – первых целинных оптимистических студенческихстроек 1958-1961 гг. Физики МГУ и здесь стали основателями новых традиций, живших затем несколько десятилетий.

После окончания учебы в университете Юра поступил в аспирантуру, и его активная деятельность в организации «физических» опер продолжилась. Праздник физиков МГУ был узаконен специальным решением комсомольской организации факультета 1959 г.: «Считать днем рождения физики день рождения Архимеда». Идея поставить Архимеда во главе пантеона физических богов появилась в мае 1959 года у группы физиков, соавтором которой был и Юра Гапонов. Праздник День рождения Архимеда в 1960 г украшал академик Лев Ландау, в 1961 г. – Нильс Бор, в 1963 г. – Герман Титов. 7 мая 1961 г. Нильс Бор со сцены клуба МГУ произнес такие слова: «Если вы, молодые физики, умеете шутить с таким задором и энтузиазмом, я совершенно спокоен за судьбу физики ...».

Летом Юра выбирался в Малую Академию наук, крымскую физматшколу, где встречался с ватагой школьников-старшекласников. Здесь ни один раз исполнялась опера «Дубинушка», которая тут же была показана в крымских телепередачах. Заодно Юра школьникам прочитал курс теории элементарных частиц и лекцию «История математики XIX столетия и современная теоретическая физика».

По окончании университета, многие из студентов на работу разъехались по разным городам, но студенческая дружба продолжилась в новом качестве: в периодических встречах нашего курса (1952 - 1958 гг.) в Москве, в переписке, встречах на научных конференциях. Так, Юрия Владимировича Гапонова хорошо знали в Киеве, в Институте ядерных исследований НАН Украины, где он неоднократно выступал с докладами на научных конференциях по ядерной физике. И в институте физики НАН Украины, где я работаю, Юрий Владимирович, кажется недавно, докладывал о последних достижениях нейтринной физики. Он был доброжелательным человеком с открытой душой и замечательным ученым с редким даром доходчиво донести до слушателей непростые научные истины.

Воспоминания о своей студенческой жизни на физическом факультете Юра опубликовал в журнале «Вопросы истории естествознания и техники» за 2001 г. в № 1-3 и за 2003 г. № 4.

Мой друг Юра Гапонов.

Ю. В. Линде

Никогда не думал, что мне придётся писать о Юре Гапонове в прошедшем времени, настолько к нему неприменимо слово «был». Для меня он навсегда остаётся рядом, а нашей дружбе уже более полувека, и говорить о нём и легко, и сложно. Легко, потому что его добрая, с хитринкой улыбка всё время у меня перед глазами. Сложно, потому что Юра слишком неординарный человек, о котором можно говорить бесконечно.

Поэтому в своих заметках я остановлюсь лишь на некоторых эпизодах, в которых ярко проявились те черты характера Юры Гапонова, которые снискали ему любовь и уважение всех, кто с ним сталкивался.

Впервые мне с ним пришлось вместе заниматься делами общественными, когда он был секретарём комитета ВЛКСМ физфака МГУ, а я – комиссаром оперативного комсомольского отряда. Несмотря на большой объём секретарской работы, Юра держал вопросы оперотряда под своим неустанным контролем, оказывая при необходимости быструю и эффективную помощь в нашей работе. Особенно запомнилось его непосредственное участие в борьбе оперотряда с недобросовестными работниками милиции, в результате чего ряд сотрудников милиции были уволены. Не случайно оперотряд МГУ был признан лучшим в Москве, а ряд наших ребят получили Почётные грамоты ЦК ВЛКСМ. Но нужно было видеть, как радовался этому Юра, хотя все понимали, что его вклад в успехи оперотряда более чем значителен. Уже в это время проявилась такая важная черта Юры, как стремление доводить любое дело до успешного конца. Характерно, что Юре удавалось концентрировать вокруг себя большие группы единомышленников, которые оставались его друзьями на всю жизнь.

Успешно занимаясь наукой (закончив аспирантуру и защитив кандидатскую диссертацию, позднее став доктором и профессором), Юра с большим удовольствием занимался общественными делами. И здесь необходимо отметить его громадный вклад в развитие так называемого «физического искусства». После создания на физфаке оперы «Архимед» Юра приложил много сил, чтобы она не умерла. Он организовывал

показ оперы (с неизменным успехом) во многих университетах нашей страны и за рубежом. А позже организовал клуб «Архимед» на базе Дома культуры Курчатовского института. И здесь, верный своему принципу, он подбирал энтузиастов, которые работали с полной отдачей. Например, он пригласил в ДК Марину Домбек, которая много сделала для успешной работы ДК.

Юру с теплотой вспоминали многие поэты и барды физфака, которым он помогал и советами и организационной поддержкой (В. Канер, В. Миляев, С. Никитин и др.)

В конце 80-х годов Юра с большим интересом стал заниматься историей развития атомных проектов как советского, так и зарубежных, тем более что стали появляться документальные работы по данной тематике. Этот интерес реализовался в организации (совместно с Институтом истории естествознания и техники) Общественного семинара по истории Советского атомного проекта, который успешно работает по настоящее время. Доклады на семинаре делались ведущими советскими учёными, принимавшими непосредственное участие в Атомном проекте. Юре удалось организовать поддержку семинара со стороны ведущих атомщиков страны и в первую очередь со стороны Л.Д. Рябева, с которым у Юры сложились тесные деловые отношения. Несомненной заслугой Юры было организация и проведение двух международных симпозиумов по истории атомных проектов (Дубна, 1996г. и Лаксенбург, 1999г.) В проведении обоих симпозиумов роль Юры была определяющей. Он был заместителем председателя Программных комитетов, проводил сложные переговоры с различными государственными структурами и в результате впервые в истории за одним круглым столом встретились лицом к лицу наши и американские «бомбоделы». Как признанному авторитету многие американские учёные прислали Юре свои книги по американскому атомному проекту, а из Франции и Германии поступили предложения о прочтении лекций на тему истории атомного проекта. Эти лекции прошли с большим успехом.

Мне вспоминается, как радовался Юра тому, что впервые русские, прежде абсолютно невыездные, физики попали за границу, причём они были поселены в лучших гостиницах Вены.

За это физики-атомщики выражали Юре большую благодарность. Но мы, члены оргкомитетов, знаем, какая титаническая работа была проведена лично Юрой, чтобы это произошло, хотя сам он никогда не подчёркивал своего вклада в это большое дело.

Немногие знают, что по инициативе Юры в Постановление Правительства о праздновании 100-летия со дня рождения И.В. Курчатова и А.П. Александрова был внесен пункт о подготовке и изданию Собрания научных трудов академиков. До конца своей жизни Юра активно работал по подготовке этих изданий, но, к сожалению, СНТ академика И.В. Курчатова (6 томов) вышли в свет уже после ухода от нас Юры, а СНТ академика А.П. Александрова увидит свет в 2014 году.

Между прочим, авторитет Юры как физика-теоретика весьма неожиданно подкрепился возросшим авторитетом физика-историка, что выразилось в приглашении его в Копенгаген на конференцию, организованную Институтом Нильса Бора для обсуждения пьесы драматурга Фрая «Копенгаген», посвящённую визиту Гайзенберга к Бору осенью 1941 года. В ходе конференции Юра сделал доклад о визите Бора в Москву в 1961-м году, встреченный участниками конференции с большим интересом. В дни конференции состоялась встреча Юры с директором Института Нильса Бора нобелевским лауреатом Оге Бором, которая продолжалась более часа (!). Оге Бор попросил Юру рассказать сотрудникам Института о своей работе по нейтрину, что Юра и сделал. Сообщение вызвало большой интерес и оживлённую дискуссию. Юра был очень доволен результатами обсуждения.

В конце нашего пребывания в Дании Юра получил приглашение от семьи Бора посетить дачу, на которой жил и работал Нильс Бор. Это был исключительный случай, поскольку иностранцы крайне редко приглашались туда. Встреча с семьёй Бора и дружеский ужин прошли в очень тёплой обстановке.

После возвращения в Москву Юра организовал перевод пьесы Фрая «Копенгаген» и убедил Олега Табакова поставить её в театре, причём роль Нильса Бора играл сам Табаков, а Юра выступил в качестве консультанта при работе театра над постановкой. Пьеса шла несколько сезонов с неизменным успехом.

Я рассказал о нескольких эпизодах из жизни Юры Гапонова. Они показывают, что это был человек настолько разносторонний, что каждый, кто с ним общался, поражался широтой его интересов и тем, что всё, за что Юра брался, завершалось конкретным результатом.

Хочу ещё отметить его искреннюю радость за друзей, достигших каких-либо успехов. Помню, как он позвонил мне и с искренней радостью сказал, что наш друг Гриша Домогацкий стал членом-корреспондентом академии наук. Так радоваться за других мог только очень хороший человек, который придёт на помощь, не дожидаясь просьбы, будет рядом в трудную минуту, который всегда готов дать хороший совет и который чужую беду воспринимает, как собственную. Именно таким человеком был мой друг Юра Гапонов.

Учитель и друг - Юрий Владимирович Гапонов

Ю. С. Лютостанский

Вступление

1962 год в кинотеатрах идет фильм Михаила Рома «Девять дней одного года». Я учусь в девятом классе средней спецшколы №1 с углубленным изучением английского языка, короче в английской спецшколе. И мысли у меня не было о том, что все взрослую жизнь я буду заниматься физикой, тем более теоретической. И тут приходит Он - Учитель. Правда, я этого тогда не понял, т.к. основное время у меня занимал спорт, точнее баскетбол, и я каждый день гонял мяч. Но фильм «Девять дней одного года» произвел на меня сильнейшее впечатление, а Юра Гапонов стал у меня сразу ассоциироваться с его главным героем – физиком Гусевым, тем более, что они были для меня очень похожими внешне. Итак, моя мама, в то время директор института, постаралась оторвать меня от «дурной компании»...

Дальше – больше. Занимаясь с Ю.В. решением задач по физике, мне становилось все более и более интересно. Надо отметить, что по моим представлениям в то время, педагог он был «никакой» (а может и наоборот). Я, школьник, решал задачи из Стрелкова (задачник для вуза), а Ю.В. сначала объяснял мне как это все интересно, а если я не справлялся, то говорил, что это тривиально, и я пытался решить задачу еще раз. Если сразу опять ничего не получалось, то задача начинала мне сниться и часто «решалась сама». Причем задач приходилось решать десятками, чего в школе у нас, конечно, не было принято.

Тогда, более пятидесяти лет назад, началось наше знакомство с Ю.В. Гапоновым, которое продолжается и по сей день, т.к. мы и не расстаемся, потому что духовная связь между нами не прерывается.

Но, все по порядку.

Ю. В. Гапонов – учитель

Студенческие годы. Стало быть, Ю.В. убедил меня идти на физфак МГУ, хотя отец был против и считал, что я должен быть инженером. Задачи на вступительном экзамене я быстро перерешал, ведь с Ю.В. решал намного более сложные, но

почему-то получил тройку. Пошел к Хохлову Рему Викторовичу, который был тогда председателем приемной комиссии и он сделал мне дополнительный экзамен, т.е. стал меня гонять по всему материалу. Потом удивился, что я отвечаю на все вопросы и велел отыскать мою письменную работу. Оказалось, что были потеряны два листка с решенными задачами. А надо отметить, что все задачи были решены двумя способами, как мне советовал Ю.В. По команде Р.В. Хохлова пошли искать оставшиеся листки и, к всеобщему удивлению, нашли. Скорее всего, они были спрятаны где-то недалеко. В общем, мир оказался не без порядочных людей.

В дальнейшем Ю.В. Гапонов придумал мне индивидуальный план, так что математику я проходил на мехмате, а физику сдавал по-возможности досрочно. Правда надо сказать, что свободное время я не тратил на науку, как надеялся Ю.В., а по-прежнему гонял баскетбольный мяч за Университет и за студенческую команду «Буревестник». Много времени проводил с друзьями, о чем нисколько не жалею. «За ум взялся» на последних курсах, когда Ю.В. подключил меня к научной работе в Курчатовском институте. Там, будучи студентом, сделал научную работу и в 1968 году написал статью в журнал «Ядерная физика». Конечно, Ю.В. был вдохновителем этой работы и много помогал, но категорически отказался от авторства в статье.

В результате я с отличием окончил кафедру выдающегося физика-теоретика Николая Николаевича Боголюбова на физфаке и продолжил научную работу в десятом секторе ИАЭ им. И.В. Курчатова в качестве аспиранта. Руководил работой, конечно Ю.В. Гапонов. Кстати, на эту кафедру мне рекомендовал поступить Ю.В. и пришлось проходить большой конкурс, и опять решать много задач.

Десятый сектор Курчатовского института

Это – легендарное подразделение Курчатовского института, где работали известные физики-теоретики, например, академики А.Б. Мигдал, Г.И. Будкер, С.Т. Беляев, А.И. Ларкин, член-корреспондент В.М. Галицкий. Там была особая атмосфера творчества, что начинаешь понимать через много лет, сравнивая с другими научными подразделениями. Но главное – это были люди, это были настоящие ученые целиком поглощенные

физикой. Ю.В. Гапонов – был одним из них. А.Б. Мигдал тогда собрал вокруг себя молодых выпускников МИФИ, которые держались дружным коллективом и все их называли «хунвейбинами» за научную агрессивность в хорошем смысле. Ю.В. был старше их, но этого не было заметно, хотя со стороны было видно, что он держался немного обособленно. Зато со своими дипломниками и аспирантами он был по-дружески приветлив, и мы все были на «ты» несмотря на большую разницу в возрасте. Ю.В. подкидывал мне разные задачи, помимо основного направления, и я ими увлекался на какое-то время. Помню – изучал алгебру токов и даже получилось переложить мигдаловскую теорию конечных систем на язык алгебры токов (неопубликовано, а есть только в кандидатской диссертации).

Основное, чем я занимался у Ю.В. в начале 70-х было решение уравнений Мигдала для эффективного поля в заряженном канале. Ю.В. совместно с Владимиром Крайновым, тогда только что разделили переменные и написали очень сложное уравнение с разными клешами, которое надо было запрограммировать и начать решать на ЭВМ. С ЭВМ у Ю.В. было – «не очень» и всю эту работу приходилось выполнять мне. ЭВМ была в подвале нашего корпуса, но время для расчетов было почему-то всегда поздно вечером и ночью. И работать ночью тогда было в порядке вещей. Но чтобы понять, что ты не врешь в своих расчетах на ЭВМ, было принято иметь некоторые аналитические решения, хотя бы для простейших случаев, чтобы потом их сравнивать. Я так увлекся этими аналитическими расчетами, что перерешал уравнения, но правда в квазиклассическом приближении, т.к. точного аналитического решения не существует. Этими решениями мы пользуемся и по сей день.

Основное, что было тогда получено – это теоретическое открытие нового гигантского ядерного резонанса, который был назван – Гамов-Теллеровским резонансом (ГТР) по аналогии с известным в то время Фермиевским или аналоговым резонансом. Гамов-Теллеровским этот резонанс был назван из-за разрешенных Гамов-Теллеровских бета-переходов, точнее квазичастичных возбуждений, на которых он – резонанс, был построен. Сразу написали небольшую статью в престижный журнал «Письма в ЖЭТФ» и сделали препринт, а потом и

большую статью в журнал «Ядерная физика» про этот ГТР. Но расслабляться не приходилось, да и мы были очень увлечены работой, что и не думали об отпуске. Дальше – больше, оказалось, что, согласно нашим расчетам, этот новый резонанс в тяжелых ядрах должен быть близким по энергии с известным аналоговым резонансом (AP), т.е. вырождаться. Для Ю.В. – это был большой подарок. Он очень увлекался математической теорией групп и так оказалось, что при вырождении ГТР и AP в тяжелых ядрах должна была восстанавливаться Вигнеровская $SU(4)$ суперсимметрия. Об этом Е. Вигнер писал еще в 30-е годы, но физических явлений подтверждавших эту идею известно не было. Так что можно представить радость Ю.В. когда «все сошлось». Но, что было плохо – это то, что экспериментально новый резонанс никто в то время не наблюдал и большинство ученых считало, что ГТР наблюдать будет нельзя из-за его большой ширины. Эта точка зрения сильно испортила нам жизнь после того как завернули нашу статью про ГТР в центральном европейском журнале Nuclear Physics. Это на несколько лет остановило деятельность Ю.В. в направлении ГТР. Правда я не останавливался и защитил кандидатскую диссертацию по коллективным возбуждениям в ядре.

Работа Ю.В. Гапонова по ГТР и вигнеровской суперсимметрии получила новое развитие после экспериментального обнаружения ГТР в США в 1979 году. На основе идей Е. Вигнера была написана формула для масс ядер, которая, как впоследствии оказалась, хорошо работает в широком диапазоне ядер. Был опубликован большой обзор, в котором мы представили материал по ГТР и $SU(4)$ суперсимметрии. Юрию Владимировичу удалось уговорить наших экспериментаторов провести эксперименты по поиску ГТР в реакциях перезарядки на ионах, что они успешно сделали на Курчатовском циклотроне под руководством А.А. Оглобина.

С тех пор прошло много лет, накопилось много экспериментального материала, появились теоретические работы с попытками систематизировать имеющиеся данные и работы, развивающие наши идеи о восстановлении вигнеровской суперсимметрии в тяжелых ядрах. В последние годы мы с Ю.В. вернулись к тематике, связанной с ГТР и подытожили, все, что накопилось за эти 40 лет в большом обзоре в журнале «Ядерная

физика». Это была последняя работа Ю.В., которая вышла уже после его безвременной кончины. И совсем недавно все работы по ГТР - теоретические и экспериментальные были объединены в одном материале, который был представлен на Курчатовскую премию. И в 2012 году за цикл работ «Предсказание и исследование свойств гигантского Гамов-Теллеровского резонанса – новой ветви спин-изоспиновых возбуждений атомных ядер (теория и эксперимент)», Ю.В. Гапонов (посмертно) в соавторстве с Ю.С. Лютостанским, А.А. Оглоблиным и С.Б. Сакутой были удостоены премии им. И.В. Курчатова «за лучшую работу в области научных исследований 2012 г.».

Воспоминания о Ю. В. Гапонове.

Л. А. Малов

Мне вспоминается время, когда Юрий Владимирович ещё не стал известным физиком, доктором физико-математических наук, а был лишь студентом физического факультета МГУ, правда, уже старшекурсником, на три курса меня старше. В то время шефство над первокурсниками проходило совсем не формально, а носило характер постоянного общения, переходящего в дружбу, в совместные туристические походы, приобщения к спортивным секциям, посещения театров, художественных выставок, поездок на традиционные летние работы в подмосковные колхозы и позднее на целину, в составе строительных отрядов по всей стране. И, пожалуй, центром такого общения было факультетское бюро комсомола. По вопросам учёбы приходилось общаться реже, каждому нужно было самостоятельно справляться с подготовкой к семинарам, работой в физпрактикуме, сдачей "страничек" по английскому языку. Учебные занятия носили для нас, студентов младших курсов, в то время пока ещё скорее школярский обязательный характер. Поэтому, вспоминаю, как меня поразило, когда Юра в одной из наших встреч, открыв случайно какую-то английскую книгу, стал сходу спокойно без запинок читать перевод её текста по-русски. И в дальнейшем всегда поражало, что во всех своих многочисленных интересах и увлечениях Юра всё делал основательно, доходил до совершенства, будь то занятия музыкой, театром, литературой, йогой, наукой, изучением истории Атомного Проекта.

Авторитет комсомольской организации на факультете после исторической IV конференции был чрезвычайно высоким. Практически все вопросы учёбы и жизни на факультете: распределение по специализации на кафедры, назначение стипендий, государственное распределение выпускников на работу после окончания университета, рекомендация в аспирантуру – решались либо по предложению курсовых и факультетского бюро, либо с неременным участием их представителей. Такой порядок поддерживал и декан факультета Василий Степанович Фурсов. В значительной степени этому помогал непосредственный контакт факультетского бюро с

руководством ЦК ВЛКСМ в лице Марины Журавлёвой и Владимира Орла, ответственных за работу вузов, обычно не согласуемый предварительно ни с вузовским комитетом, ни с райкомом ВЛКСМ. Наряду с секретарями факультетского бюро ВЛКСМ тех лет В. Неудачиным, В. Письменным, В. Кандидовым, С. Федотовым, большую роль в создании такого положения сыграл и Юра Гапонов, являясь либо членом факультетского бюро, либо его секретарём, либо, как иногда мы дружески шутили, называя его и А. Кессениха «друзьями факультетского бюро».

Ю.В. Гапонов стал одним из родоначальников традиций «физического искусства» на физфаке МГУ. Началось всё с создания выпускниками физфака 1954 года музыкально-сатирического спектакля-капустника под названием опера «Дубинушка». В создании следующей «оперы», связанной с жизнью факультета, участвовал и Юра Гапонов. И всё это позднее вылилось в написание В. Канером и В. Миляевым оперы «Архимед» и в основание, ставшего потом традиционным, студенческого праздника физфака под названием «День рождения Архимеда». На его проведение приезжали гости из университетов многих областей и республик Советского Союза, а в дальнейшем подобные студенческие праздники стали проводиться на некоторых других факультетах МГУ и во многих университетах страны. На одном из праздников Дня Архимеда в 1961 году в числе гостей присутствовали Нильс Бор со своей семьёй и Л.Д. Ландау, выразившие тогда своё восхищение этим студенческим праздником. После окончания аспирантуры Юрий Владимирович работал в ИАЭ имени Курчатова. Здесь по его инициативе и при поддержке И.К. Кикоина и директора института А.П. Александрова также стали проводиться празднования «Дня физики».

Работая в ИАЭ, Ю.В. Гапонов заинтересовался историей разработки Атомного Проекта в СССР, многие страницы которого пока ещё были засекречены. В значительной степени по его инициативе стал проходить Общемоосковский семинар по истории советского Атомного Проекта, он был сопредседателем этого семинара, на заседания которого приезжали слушатели из других городов страны. Особое внимание Юрий Владимирович всегда уделял показу роли в этом Проекте Игоря Васильевича

Курчатова. Заручившись поддержкой в Госкомитете по Атомной Энергии, Ю.В. Гапонов стал инициатором и организатором двух Международных конференций по истории советского Атомного Проекта, ИСАП-96 и ИСАП-99. Среди участников этих конференций было много непосредственных участников данного Проекта, стоявших у истоков разработки данной проблемы в Советском Союзе. Мне довелось быть участником первой из конференций. С большим интересом к участию в конференции отнеслись иностранные учёные из многих стран. Все доклады заслушивались с большим вниманием и интересом, поскольку в большинстве своём докладчики сами были участниками Атомного Проекта и излагали очень откровенно и эмоционально. В этом отношении доклады иностранных участников конференции казались мне более сдержанными и формальными, видимо, им любопытнее было скорее слушать откровения хозяев и организаторов этого уникального собрания, чем делиться своими воспоминаниями о пережитых когда-то трудностях и проблемах минувшей эпохи. Возможно, впервые многие участники конференции смогли видеть и слушать создателей «атомного щита» нашей страны. Захватывающе интересным был, например, доклад В.Б. Барковского, рассказавшего о вкладе научно-технической разведки при решении Атомной проблемы, признававшего, однако, лишь вспомогательную роль этого вклада. Конференция была очень представительна по количеству участников (более 200 человек, среди них около 40 иностранцев) и по широте обсуждаемых проблем.

Необходимо отметить, что вопросы истории советского Атомного Проекта интересовали Юрия Владимировича давно, и вначале материалы по этой теме удавалось находить по крохам из-за их малой известности. Но здесь ещё раз наиболее ярко проявилась одна отличительная черта его характера, учёного и исследователя – если он брался за какую-то проблему, научную, общественную, социальную, то делал это не поверхностно, а глубоко, профессионально.

Научная деятельность Юрия Владимировича Гапонова была очень успешной и плодотворной. Первые же его работы по исследованию нарушения чётности в слабых взаимодействиях на примере бета-гамма-корреляций оказались пионерскими в этом направлении. Мировую известность получили его работы по

Гамов-Теллеровскому резонансу в атомных ядрах. В последние годы он на основе симметрии Паули предложил новый подход к теории майорановских нейтрино, что позволило ему определить распределение масс нейтрино и оценить их абсолютные значения. Несмотря на врождённую деликатность, он всегда твёрдо и смело отстаивал свои научные взгляды, что проявлялось в научных дискуссиях с академиком Л. Окунем и другими физиками, в докладах на семинарах и конференциях. Его доклады отличались ясностью и чёткостью аргументации, они слушались с большим интересом.

Такая же основательность проявилось при его занятии «физическим искусством». Начиналось с создания так называемых физфаковских «опер», организации первых студенческих праздников на физическом факультете МГУ, «Дней физики» в Курчатовском институте, а затем эта идея была подхвачена во многих университетах и некоторых научно-исследовательских институтах страны. Эта традиция сохранялась на протяжении многих лет. Сложился театральный коллектив, показавший более 300 раз свои спектакли во многих городах страны от Калининграда до Камчатки.

По инициативе Ю.В. Гапонова была проведена в 1985 году в Пущино мемориальная конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения Нильса Бора. В организацию этой конференции большой вклад внёс выпускник физфака Юра Лисневский. Изучению темы, связанной с именем Нильса Бора, Юрий Владимирович посвятил многие годы, неоднократно побывал в Копенгагене, в институте его имени. На конференции ИСАП-96 он с сотрудником ИИЕТ РАН В.П. Визгиным организовал специальное заседание семинара, посвящённое этому гениальному физику. В его докладе подробно рассказывалось об очень насыщенной поездке Н. Бора в 1961 году в Советский Союз. С интересными докладами на семинаре выступили С.Т. Беляев, Д.С. Данин, В.П. Джелепов, который рассказал о визите Н. Бора в Дубну.

Хотелось бы отметить, что на протяжении всей своей научной деятельности Юрий Владимирович тесно сотрудничал с Дубной. Это были и научные, и научно-организационные связи (он был деятельным членом Программно-консультативного Комитета ОИЯИ по ядерной физике). Неоднократно выступал

здесь с лекциями, рассказывал о малоизвестных эпизодах из истории физики. Его очень увлекала литературная деятельность, с большим энтузиазмом он относился к написанию собственных воспоминаний о студенческом периоде жизни. Приезжая в Дубну, он иногда собирал нашу группу выпускников физфака и в домашней обстановке зачитывал свои только недавно написанные воспоминания, а мы с интересом и удовольствием слушали его и вспоминали годы совместной учёбы и жизни в Университете. Его воспоминания, написанные с юмором, были очень откровенными, во многом самокритичными, иногда грустными и горькими, когда он признавался в расставании со своими юношескими иллюзиями. Юра обещал со временем добраться в своих воспоминаниях до тех лет, которые нам более знакомы, до времени создания агитбригады физфака, периода расцвета физфаковских песен А. Кессениха, В. Канера, С. Крылова, С. Никитина, Г. Иванова, В. Миляева и других наших друзей-поэтов. Не успел. Перечитывая сейчас его воспоминания, остаётся иногда впечатление, что во многом он оставался до конца жизни доверчивым и наивным, тоскующим от непонимания его окружающими, несмотря на свою распахнутую доверчивость, даже чувство одиночества, как это ни парадоксально звучит, зная его общительность и дружеские отношения с десятками и сотнями близких ему коллег и друзей.

Доброжелательность его ярко проявлялась в заботливом и бережном отношении к своим ученикам, студентам и аспирантам, очень трогательно тёплым отношением к своей жене Ирине. А его наивность особенно огорчала, когда в эпоху перестройки было видно, с какой лёгкостью удавалось его и других запутать и обмануть Горбачёву, Яковлеву и другим вероломным политическим проходимцам, разрушителям Советского Союза.

Но навсегда останется в памяти друзей и коллег Юрия Владимировича Гапонова его доброта и оптимизм, его светлый образ.

О Ю. В. Гапонове, о Дании и о судьбе (письма из Копенгагена)

В. Г. Недорезов

Годы жизни в Копенгагене и работа в институте им. Нильса Бора оставили заметный след в судьбе Юрия Владимировича Гапонова, но ни в его научной биографии, ни в его личных воспоминаниях материалов на эту тему практически нет. Единственное упоминание об этом периоде я нашел в воспоминаниях самого Ю.В. [1]. Там он отмечает, что «во время научной командировки в Институт Бора ему привелось быть приглашенным в гости к Маргрет Бор – жене Нильса Бора, которая с теплотой вспомнила встречу Бора со студентами МГУ, наш праздник на ступенях физфака и оперу на сцене МГУ. Было ей тогда уже 92 года, но она прекрасно помнила представление, Ландау с Бором на ступеньках и «греческий» хор оперы в простынках...». Теперь становится понятно, почему Ю.В. стал научным консультантом у Олега Табакова при постановке спектакля МХАТ «Копенгаген» о встрече Нильса Бора с Вернером Гейзенбергом во время второй мировой войны.

К сожалению, самого Ю.В. в Копенгагене мне застать не довелось. Судя по его записи, приведенной выше, Ю.В. был там 1982 году, а я на 7 лет раньше. Но участники датских событий, включая Оге Бора, который был тогда директором Института, были те же. Поэтому рассказать о том времени, по-видимому, имеет смысл. Сам Ю.В. хоть и не часто, но с большой теплотой вспоминал о своей датской жизни, хотя совместных публикаций с датскими коллегами у него не случилось. В Институте Бора занимались, в основном, ядерными реакциями, изомерными состояниями ядер и т.п., а то, что делал Ю.В., выходило за рамки традиционной тематики. Последний разговор на эту и другие темы с Ю.В. у меня состоялся в Дубне в 2009 году сразу после его юбилея (75 лет), после которого жить ему оставалось совсем недолго. Он был полон новых замыслов, новых идей, в основном по физике нейтрино, о которых в воспоминаниях специалистов уже написано немало [2, 3]. Очень жаль, что реализовать их не удалось. Но сейчас мы говорим о прошлом. Предлагаемым

вашему вниманию запискам уже около 40 лет. Итак, Институт им. Нильса Бора в Копенгагене в середине 70-х годов.

Этот Институт существует до сих пор. Он является подразделением Института астрономии, физики и геофизики имени Нильса Бора, в свою очередь являющегося подразделением Университета Копенгагена. Институт был основан Нильсом Бором, заведовавшим тогда одной из кафедр, в 1920 г. при финансовой поддержке пивоваренной компании Карлсберг. В восьмидесятую годовщину со дня рождения Н. Бора (7 октября 1965г) Институт Теоретической Физики Университета Копенгагена получил имя своего основателя.

Начиная с 1962 г., после смерти Нильса Бора, директором Института стал его сын Оге Бор. Он же, в 1975 – 1981 году был директором Института теоретической атомной физики НОРДИТА, расположенном в Стокгольме (Швеция). Хотя в справочниках отмечается, что Оге Бор был директором Института им Н. Бора до 1970 года, я считал его директором и в 1975 году, когда получил от него приглашение на длительную командировку в Данию. И потом он всегда лично интересовался моей работой и планами на будущее. Его предложение на продление моей командировки было отправлено в Москву в 1976 году, но воспользоваться им мне не удалось, потому что, в конце концов, надо было сделать непростой выбор: Дания или Россия.

Итак, в 1975 году состоялась моя первая поездка за рубеж. И случилась она сразу в капиталистическую страну и сразу на шесть месяцев. В семидесятые годы это был период глухого железного занавеса и стать так называемым «выездным» было непросто. На комиссии старых большевиков в райкоме партии надо было доказывать свою преданность коммунистическим идеям. Беспартийных туда не подпускали. Потом были собеседования в ЦК КПСС. Но и этого было мало, сработало только приглашение от самого Бора (правда, не Нильса, имя которого знали даже в райкоме, а его сына Оге). Приглашение мне организовали мои научные руководители, – Сергей Михайлович Поликанов и Любовь Ефремовна Лазарева.

А в Дании была свобода. Но в начале было пиво... Пиво, которое изготовлялось знаменитой пивоварней Карлсберг. Ее хозяин Яков Христиан Якобсон был одним из самых богатых людей

Дании и на его деньги в первые годы существовал Институт Н. Бора. Посещение пивного завода “Карлсберг” входило в план работы профкома советского посольства в Копенгагене. После обстоятельной экскурсии по цехам завода устраивалась дегустация под государственными флагами Дании и России. На дегустации предлагалось до 10 разных сортов пива. Так что времени для разговоров и раздумий было достаточно...

Работая в Институте им. Н. Бора, я встречал там сотрудников ОИЯИ, Томского университета, Курчатовского института, ФИАН и других, которые находились в длительной командировке. Обычно срок стажировки составлял около 9 месяцев, который часто продлевался. За это время можно было «родить» диссертацию и получить научную квалификацию высокой пробы.

Первое, что меня поразило в Дании, – это удобная жизнь, продуманная до мелочей. В институте каждый приезжий получал ключ, которым можно открывать любую дверь с улицы. Этот же ключ подходил и к своему кабинету. Такая же система работала и в подъездах жилого дома. Свет гаснет автоматически, после того как закрылась дверь. Электричка или автобус из Копенгагена в Роскильде, где находится экспериментальная лаборатория Института Н. Бора, отходит всегда в одно и тоже время по минутам, только часы меняются. Также и в другие места, поэтому расписания запоминать не надо. На работе в ночные смены ускоритель Ван-Граф иногда выключается сам собой из-за мелкой поломки, но будильник для оператора звенит с задержкой, чтобы зря его не тревожить, потому, что иногда поломка самоустраняется. И таким примерам нет конца. Но вернемся к главной теме.

Лидерами в Институте были Оге Бор и Бен Моттельсон (за громкий голос и, несмотря на низкий рост, а скорее благодаря нему, Моттельсон имел прозвище Биг Бен). Они часто устраивали неформальные вечера для сотрудников. Раньше на Блегдамсвей, где расположен институт, были традиции: в воскресенье новичка приглашали на обед к самому Бору, жившему при институте, на рождество устраивалась елка, возле которой приглашенные сотрудники водили хоровод. Но об этом и о гостеприимстве фру Маргрет мне довелось слышать только от более старых наших сотрудников, в частности, от Вадима

Ивановича Попова. Но и в 75-ом году жизнь была ключом. Поводов для неформальных мероприятий хватало. Институт был научным центром, куда приезжали пообщаться и поработать многие теоретики и экспериментаторы, поэтому с юбилейными датами, которые служили поводом для встреч, проблем не было. Помню конференцию, которая так и называлась: 4 x 50. Вечер был устроен в пригородном музее «Луизиана», расположенном на берегу пролива, отделяющего Данию от Швеции. Музей - это длинная одноэтажная стеклянная галерея с деревянным потолком. С одной стороны галереи на стене висят картины, а с другой через стеклянные окна открывается вид в парк и на море. На горизонте хорошо видно Швецию. В парке много скульптур современного и очень популярного Генри Мура (Moore). Ночью парк освещается редкими факелами, которые горят прямо на земле. Среди живописи запомнилась большая японская картина, нарисованная маслом, изображающая сексуальный акт самурая на фоне индустриального пейзажа с взлетающим самолетом. Сюжет вполне соответствует сексуальной революции, развернувшейся в Дании в 70-е годы.

Второе острое впечатление от датчан, это их независимый свободный нрав. Для Ю.В. это не могло не создавать приятной атмосферы. Насколько я его знал, для Ю.В. не существовало понятия «начальник или авторитет», если речь шла о научной работе. Я думаю, что многие могли бы подтвердить мои слова, но я не хочу здесь опускаться до персональных разборок. В Дании свобода поведения вырабатывается с детства. Повсеместно распространены общие сауны. В городских парках, даже в центре города, куда открывается вид из институтской библиотеки, – женщины загорают неглиже. Разумеется, никаких распорядков дня и табелей в институте тут нет.

Иногда свобода выходит за человеческие границы. На музыкальном фестивале в Роскильде в 1975 году огромное поле (два километра в поперечнике) было огорожено забором. Вместо билета на руке завязывают шнурок и запечатывают пломбу. Все лежат на траве или на одеялах. Многие курят глиняные трубочки с наркотиком. Можно ходить без набедренных повязок, курить травку. В качестве туалета – длинная канава, над которой все сидят, как куры на нашесте, не разбирая ни пола, ни возраста.

Сильный ветер, который в плоской островной Дании дует очень часто и очень сильно, разносит брызги по всей поляне. Свобода...

Но при всей своей любви к свободе датчане обладают удивительным стремлением к порядку и законопослушности. Как-то, я переходил улицу на красный свет, не нажав кнопку на столбе и не переключив светофор. Машин на дороге практически не было, но проезжавшая мимо машина вдруг сделала лихой зигзаг и почти задела меня своим бортом. Так датчанин решил поучить меня к порядку. Лично для меня порядок теперь начинается с чистоты, – на улице, в электричке, везде. К сожалению, порядка в России в отличие от Дании как не было, так и нет.

Порядок регулируется деньгами. В семьях, начиная лет с пяти, детям дают наличные деньги, около 55 датских крон в месяц. С каждым годом эта сумма возрастает примерно на 10 крон. Если ребенок выполняет работу по хозяйству, ему платят дополнительно еще 25 крон. Питание непривычное. Все таскают с собой коробки с едой на ланч. В столовой можно купить только бутерброды, редко когда горячее без выбора. Но датский бутерброд - это нечто, не поддающееся описанию, потому что он многоэтажный и каждый слой разный. Когда я вижу в нашей рекламе картинку «датского бутерброда» с одной сосиской внутри, это вызывает раздражение. На работе у сослуживцев и лучших друзей просят сигарету и тут же отдают за нее одну крону. Это – характер. Вообще, не знаю до сих пор, что в человеке важнее, – генотип или воспитание. Наверно, все-таки воспитание, потому что из каждого здорового ребенка может получиться как Маугли, так и профессор. В Дании умеют воспитывать порядочных людей.

В научной среде очень ценят юмор. Например, если на конференции кто-то просит: – говорите, пожалуйста, громче, то докладчик сразу отвечает, – спасибо, я как раз собирался обсудить вашу работу. Весь зал заходится от смеха. Реплики и вопросы звучат непрерывно. У нас тоже есть свои правила, например, если на семинаре в нашей лаборатории говорят, – не прикидывайтесь идиотом, то надо отвечать – а я и не прикидываюсь. Но все же, наши семинары проходят намного тише и скромнее.

Вообще, отношение к науке и труду очень бережное. Здесь понимают, что без науки в жизни было бы мало хорошего во всем. В центре города стоит фонтан со скульптурой: основатель Дании пашет воду на лошадях. Сколько напахал, – столько земли досталось жителям. И за это ему большое спасибо. В музее викингов демонстрируется навигационный прибор – «солнечный камень», – это линза из минерала, способного поляризовать солнечный свет. В пасмурную погоду и даже если солнце скрылось за горизонтом, с помощью такой линзы можно определить положение солнца с высокой точностью, потому что свет в атмосфере всегда частично поляризуется. Такое научное открытие, сделанное много веков назад, производит впечатление. А современная наука, – это лицо страны.

В качестве третьей национальной черты датчан я бы выделил умение рассуждать и правильно сделать выбор. Как раз в 1975 году вышел на экраны фильм «Полет над гнездом кукушки». Там главный герой пытается отучить обитателей сумасшедшего дома от вредных привычек, – кого от трусости, кого от воровства и т.д. Но финал очевиден: против природы идти нельзя. Сидя за чашкой чая, датчане как-то спросили меня: вам дать пирожное или черствый сухарь, намекая на мой социальный статус. И что вы предпочтете? Когда я им пытался объяснить, зачем в России студенты едут в строительные отряды, они это понимали. Но зачем отряды живут по принципу коммун, с разными там комиссарами – нет. Очевидно, под сумасшедшим домом датчане понимали именно Советский Союз. И возразить им было трудно, потому что социальная справедливость и тогда и сейчас в Дании не сравнима с нашей. Там нет олигархов, и налог на среднюю зарплату составляет тридцать – сорок процентов, а на высокую доходит до восьмидесяти. Зарплата Бора как директора Института всего в полтора раза больше, чем у аспиранта. Персональных машин с мигалками нет вообще. Застроить общественную землю личным владением просто невыгодно, вся береговая линия, а ее в Дании много, свободна для прохода. Вот и получается, что о Дании приходится говорить хорошо, а о России плохо. И все равно уезжать из России насовсем казалось невыгодным. Наивная вера в будущее побеждала реальность. Наверно у всех, кто долго работал и жил за границей, вопрос о том, где лучше жить, неизбежно вставал

рано или поздно на самом критическом уровне. И Ю.В., я думаю, не был здесь исключением.

Могила Нильса Бора расположена на большом аристократическом кладбище в северной части города, где похоронены многие знаменитые датчане. Среди них – сказочник Ганс Христиан Андерсен, философ Мартин Андерсен Нексе. Честно сказать, – все датские кладбища выглядят аристократически: большие памятники или мраморные и гранитные доски, крестов нет. Вдоль дорожек - зеленая изгородь. Служители в форменной одежде блюдут чистоту и порядок. Указателей на дорожках нет, но служители охотно помогают найти нужную могилу. У Бора она выделяется большими размерами и великолепием: за чугунной цепной оградой стоит столб из черного камня, увенчанный лавровым венком, на котором сидит сова – символ мудрости. Я думаю, вспоминая Ю.В., что мудрость и у него была одной из главных черт менталитета. Очевидно, одним из проявлений мудрости является чувство юмора, которым Ю.В. обладал в полной мере. Но все-таки жизнь меняется и надежды остаются. Как-то Ю.В. мне сказал, что в его записной книжке записано около двух тысяч абонентов. И я думаю, каждый из них с благодарностью вспоминает о своем общении с замечательным человеком, Юрием Владимировичем Гапоновым. Это дорогого стоит. Это значит, что можно жить и, не уезжая из России.

Литература.

1. Ю.В. Гапонов. Традиции «физического искусства» в российском физическом сообществе 50-90-х годов. Сб. Физики шутят. www.abitura.com
2. Памяти Ю.В. Гапонова. УФН 181, 3 (2011), 335.
3. А.В. Кессених, С.В.Семенов. Юрий Владимирович Гапонов – ученый и гражданин. Сб. Исследования по истории физики и механики. Институт истории естествознания и техники им. С.В. Вавилова (2011) стр. 166–176.

ВОСПОМИНАНИЯ О МОЕМ ДРУГЕ ЮРЕ ГАПОНОВЕ

Э.Е. Саперштейн

Я познакомился с Юрием Владимировичем Гапоновым – Юрой – в начале 1961 г., попав в качестве дипломника Аркадия Бенедиктовича Мигдала (АБ, как звали его мы) в руководимый им теоретический «Сектор 10» Института Атомной Энергии имени Курчатова. Это был период «бури и натиска» в теории систем многих тел, связанный с применением методов квантовой теории поля. Всего за несколько лет до этого эти методы, основанные на использовании диаграмм Фейнмана, были с успехом развиты для конденсированных сред. Значительную, в чем-то определяющую роль в этом развитии сыграл Мигдал. Л.Д. Ландау, пользуясь этими методами, создал знаменитую теорию ферми-жидкости, сыгравшую огромную роль в развитии теории металлов. АБ решил развить аналогичный подход для «конечных ферми-систем» – атомных ядер. Он сумел убедить нового директора ИАЭ А.П. Александрова в перспективности развиваемого им подхода и тот дал ему карт-бланш в наборе новых сотрудников. АБ взял пятерых студентов нашей группы МИФИ, которая, по мнению многих, была очень сильной, сначала на преддипломную практику и диплом, а потом на работу. Кроме меня это были Владимир Крайнов, Алексей Лушников, Михаил Троицкий и Виктор Ходель. Одновременно, в различном качестве – сотрудниками либо аспирантами – были приняты еще несколько человек. В их числе – сотрудником – был принят и Юра.

Юра был на несколько лет старше нас, но это совершенно не было заметно, он и впоследствии всегда выглядел моложе своих лет. Держался он всегда запросто, как равный. Не сразу мы узнали, что он уже успел закончить аспирантуру у И.С. Шапиро и стал настоящим специалистом в теории слабых взаимодействий. От своего первого учителя Юра узнал много того, что для нас было в новинку, и чему он нас охотно обучал. Дело в том, в атомных ядрах для решения уравнений «Теории конечных ферми систем» (ТКФС) – так Мигдал назвал свой новый подход – процедура отделения угловых переменных не столь проста, как в

бесконечной ферми-жидкости. Эти уравнения предполагалось решать с помощью компьютеров – новинки для нашей страны, да и во всем мире только начинавших свое внедрение в теоретическую физику. Но чтобы привести уравнения ТКФС к решаемому виду, надо было отделить эти самые угловые части. Это и сделал Юра в работе, совместной с Крайновым, которая и послужила необходимым элементом во всех практических приложениях ТКФС. Поскольку Крайнов учился вместе со мной и слушал те же курсы лекций, что и я и вся наша «пятерка», для него техника суммирования коэффициентов Клебша, на которой была основана эта работа, была, разумеется, в новинку. Т.е. Юра вначале обучил этому его, а потом, с его помощью, всех нас.

Сектор 10 вскоре был преобразован в 2 лаборатории – «Многочастичных систем», руководимой Мигдалом, и «Теоретической физики», возглавляемой Борисом Товиевичем Гейликманом, но по сути они были и до сих пор остаются единым образованием, называемым «теоретики», и мы плохо помнили, кто куда формально входит. По-моему, Юра входил в Лабораторию многочастичных систем. Обе лаборатории после этой реорганизации входили в Отдел Ядерных Проблем, многие годы возглавляемый Исаем Исидоровичем Гуревичем, а впоследствии – Владимиром Петровичем Мартемьяновым. Основу этого отдела составляли несколько экспериментальных лабораторий, возглавляемых самим Гуревичем, Петром Ефимовичем Спиваком, Борисом Григорьевичем Ерозолимским, Мартемьяновым. Все они занимались различными аспектами бета-распада нейтрона и другими вопросами физики слабых взаимодействий. Близкой по тематике была и входящая в другой отдел лаборатория, возглавляемая Львом Александровичем Микаэляном. Все перечисленные руководители лабораторий были замечательными физиками, хорошо понимавшими, «что надо делать», но и «теоретическая поддержка» была им необходима. И эту роль в ту пору, а в значительной мере и до конца жизни, играл Юра Гапонов. Я помню с первых лет нашего знакомства Юрино – «пойду – поговорю с экспериментаторами», всегда как бы, между прочим. Он всегда был очень скромным человеком и никогда не выпячивал свою роль, но теперь, вспоминая прошлое, я отчетливо понимаю, что в том, что наш

институт в течение многих лет занимал ведущее место в вопросах физики бета-распада нейтрона, огромная роль принадлежит Гапонову.

Без сомнения, в Курчатовском Институте Гапонов был ведущим теоретиком в области физики слабых взаимодействий, основой чего послужил еще «шапировский» багаж. Но, продолжая работать в этом направлении, он активно развивал и «мигдаловскую» линию – ТКФС. Наиболее важный результат, полученный им в этом направлении, - это развитая им совместно с его учеником Ю.С. Лютостанским теория Гамов-Теллеровского резонанса (ГТР). Здесь также проявилось столь характерное для Юры желание активно работать с экспериментаторами. После длительных переговоров он убедил Алексея Алексеевича Оглоблина, начальника Отдела Ядерной Физики, занимающегося ядерными реакциями, в перспективности постановки эксперимента по обнаружению ГТР в реакциях под воздействием ионов лития, которыми занимались в этом отделе. В результате был получен блестящий результат, которым по праву может гордиться наш институт.

Необычайная скромность Юры Гапонова проявилась и в том, что мы далеко не сразу узнали, что он был режиссером – одним из создателей физфаковской оперы «Архимед», слухи о которой бродили по Москве. Все, или почти все ученики Юры были «архимедовцы». Про «школу Мигдала» говорили, что отличительной ее чертой было отсутствие склок. Вспоминая членов «школы Гапонова», коих я знал до десятка, сразу приходит в голову, что все они хорошие люди. То ли это принцип отбора, то ли он так воспитывал окружающих своим могучим биополем. А воспитывал он окружающих охотно, но всегда исподволь, незаметно. Так, у меня и многих «мигдаловцев» моего поколения он воспитал любовь к театру. Дело в том, что в пору моей юности казенные спектакли МХАТа или «Малого» вызывали явную скуку - особенно в сравнении с итальянским или французским кино, которые были доступны, являя собой образцы настоящего искусства. Я был убежден, что драматический театр - отжившее искусство и нечего тратить время и деньги на посещение театров. И вот однажды Юра рассказал нам, что появился новый театр «Современник», который - нечто

абсолютно новое и куда надо ходить. Однако это не просто, т.к. билеты очень трудно купить. Они продаются два раза в месяц на ближайшие две недели, при этом очередь образуется за несколько дней до продажи – с записью, перекличками и ночным дежурством в день продажи. При этом «в одни руки» давали ограниченное число билетов, – кажется, по два на два спектакля. Он сказал, что его друзья – как я потом понял тоже в основном «архимедовцы» – организаторы такой очереди, и он пригласил нас присоединиться. Мы все решили попробовать – я, правда, с некоторым скептицизмом. Дело было где-то в конце мая, ночи были теплые, так что дежурить было даже весело. И уже первый спектакль развеял мой скептицизм. Это был «В поисках радости» по пьесе Виктора Розова. На сцене были живые люди, вели себя естественно – как в итальянских фильмах. А когда молодой Табаков – наш ровесник – начал рубить дедовской шашкой мебель – символ мещанства – зал разразился аплодисментами. А ставший быстро знаменитым «Голый король» с Евстигнеевым и Ефремовым в главных ролях – это был полный восторг. За пару месяцев мы пересмотрели весь репертуар «Современника» – он тогда был небольшой. В итоге я стал театралом, как и многие мои друзья.

Так что мы общались не только «по науке». Мигдал нередко устраивал застолья для своих учеников – с всегда вкусной и обильной едой и большим количеством спиртного. В них всегда участвовал и Юра. Случались и застолья в более узком кругу – на конференциях или «по случаю», где закуска часто была минимальна – а количество спиртного «на душу населения» едва ли не больше, чем бывало у Мигдала. И далеко не сразу я стал замечать, что Юра пьет только сок и воду. При этом он вел себя так же весело и непринужденно, как и все остальные, которым было необходимо для этого «принять» достаточное количество спиртного, иногда чрезмерное. Вспоминая теперь эти застолья, я восхищаюсь необыкновенным тактом Юры, который никогда не выделялся в подвыпившей компании, а наоборот сглаживал «острые углы», если таковые возникали. Далеко не сразу я узнал, что Юра был йогом – причем довольно продвинутым. Вообще скромность, может быть, иногда излишняя, с которой он вел себя в науке, проявлялась и в обычной жизни.

Пока была жива моя жена, мы вечерами перед сном часто прогуливались по улице Маршала Бирюзова, до метро и обратно (я живу совсем рядом с Институтом). Частенько, где-нибудь в районе 22 часов, мы встречали Юру, который только возвращался домой – а ему надо было еще ехать через весь город. Тогда он был увлечен созданием новой теории майорановского нейтрино. Работа на эту тему была опубликована уже после его смерти – с помощью Славы Хрущева, его сотрудника и ученика, который подготовил почти готовую рукопись для публикации. Юра Гапонов был выдающимся ученым и замечательным, светлым человеком. Вспоминая его, я не могу вспомнить ни одного эпизода, который вызывал бы отрицательные эмоции. Это большая редкость.

Ю. В. Гапонов – художественный руководитель студии

“Архимед”.

А.А. Харламов, С.В. Семенов

В 1959 году комсомольская конференция физического факультета МГУ приняла решение, одним из инициаторов которого был Юрий Гапонов: “ Учредить праздник - “ День рождения физики“. Считать днем рождения физики день рождения Архимеда. Постановить, что Архимед родился 7 мая 287 года до н.э. “ [1]. С этого решения и начинается славная история празднования Дня физика на физфаке, а затем и во многих учебных и научно-исследовательских центрах страны. Первый многотысячный праздник День рождения Архимеда состоялся в 1960 году. Праздники, по подобию студенческих строительных отрядов, готовили и проводили штабы. В 1961 году начальником штаба был Юрий Гапонов – первый секретарь комитета ВЛКСМ. Именно этот праздник является одним из самых знаменитых, так как на нем присутствовал великий классик Нильс Бор (фото 1.) Как поется в задорном хоре из оперы “Дубинушка”:

Электрон вокруг протона обращается

Эта штука “атом Бора” называется!

Нильс Бор высоко оценил увлеченность и энтузиазм молодых советских физиков. Ему очень понравилось представление оперы “Архимед”, написанной в 1960 году Валерием Канером и Валерием Миляевым и поставленной Степаном Солуяном.

Опера повествует о жизни и борьбе молодого древнегреческого ученого, о его беззаветной любви к науке и неизменно встречает горячий отклик в сердцах зрителей. “Архимед” стал ярким этапом в создании “физического искусства”, продолжая традиции опер “Дубинушка” (авторы В. Балашов, Б. Курьянов, В. Иванов и другие) и “Серый камень“ (А. Кессених, Ю. Гапонов, В. Иванов, С. Солуян). Впервые определение “физическое искусство” было предложено Юрием Гапоновым и его роль в становлении и развитии этого замечательного явления в нашей научной и общественной жизни огромна.

С середины 60-х годов до начала 90-х Юрий Гапонов руководит творческой студией “Архимед”, где наряду с операми физфака ставятся и балеты, и юмористические спектакли. Не будет преувеличением сказать, что через оперу прошла не одна сотня артистов. Среди них и крупные ученые, кандидаты и доктора, профессора и лауреаты, и не обязательно научные работники. И всех их объединил своим талантом, доброжелательностью и интеллигентностью Юрий Гапонов. Этот уникальный театр и сейчас продолжает радовать физиков (главный режиссер Светлана Ковалева). Со всеми Юрий Владимирович разговаривал на равных, будь то первокурсник или маститый солист. Под его руководством коллектив “Архимеда” принимал участие в интереснейших событиях – в празднованиях Дня физика в Институте атомной энергии (Курчатовский Институт), празднике юмора ИАЭ в честь 80-летия А.П. Александрова (1983), в юбилейной сессии в честь 100-летия Нильса Бора в Пущино (1985).

География гастролей студии ”Архимед” поистине безгранична. Дубна, Пущино, Протвино, Троицк, Менделеево, Новосибирск, Польша, Рига, Нововоронежская АЭС, Новосибирск, ленинградский День физика во дворце Великого князя Константина (напротив Петропавловской крепости), Сахалин, Иваново, Фрязино [2]. И везде нашего художественного руководителя радушно встречали коллеги, знавшие его и по научным работам, и по комсомольским свершениям.

Юрий Владимирович любил вспоминать случай, который произошел во время поездки в Обнинск, город-пионер мирного атома. По каким-то причинам не пришел автобус, который должен был доставить архимедовцев на выступление. И вдруг к Главному зданию МГУ подъезжает десяток такси, заказанных гостеприимными хозяевами, и, преодолев более ста километров, артисты оперы благополучно прибыли в Дворец культуры Физико-энергетического института. Сейчас это воспринимается как научная фантастика.

Юрий Владимирович много делал для того, чтобы творческие достижения физиков во всех областях стали достоянием научного сообщества. Обладая прекрасным даром увлекательного рассказчика, он опубликовал полные тонкого юмора и интересных наблюдений воспоминаний о времени учебы

на физфаке, о первых операх и студенческих праздниках [1]. Во время своей научной командировке в Институт Нильса Копенгагене Юрий Гапонов наряду с сообщением о новейшей теории нейтрино сделал доклад и об искусстве физиков в России. И закономерно, что Ю.В. Гапонов выступил еще в одной роли, связанной с театром, стал научным консультантом при постановке пьесы “Копенгаген” в МХАТе о диалоге Гейзенберга и Нильса Бора в 1943 году.

Каждый год в мае перед началом весенней сессии на ступеньках физфака ставится красочный праздничный спектакль, в котором участвуют и студенты, и преподаватели. Они весело и остроумно рассказывают о том, что близко их сердцу, о выборе научного пути, о новых физических проблемах. И это означает, что дело, которому Юрий Владимирович посвятил столько своей творческой энергии, продолжает развиваться.

Литература

1. Ю.В. Гапонов. Традиции “физического искусства” в российском физическом сообществе 50-90-х годов// Вопросы истории естествознания и техники, 2003. №3. С. 165–178.
2. Всеобщая история Архимеда: В 6-ти томах. Архив студии «Архимед».

Памятные заметки о Ю.В. Гапонове В. В. Хрущёв

С Юрием Владимировичем Гапоновым я познакомился заочно в середине 60-х годов, будучи студентом физфака МГУ. Я и мои товарищи по курсу с боем прорывались на представления оперной студии «Архимед», которой руководил Ю.В. Гапонов. Эти представления для нас были отражением нашей студенческой жизни, и мы узнавали в героях на сцене персонажей, с которыми часто сталкивались на факультете и в общежитии. Перед наступлением летних каникул на факультете вывешивались объявления о наборе в строительные отряды физфака МГУ. Потом я узнал, что одним из зачинателей движения студенческих строительных отрядов являлся Юрий Владимирович. В середине и даже в конце 60-х годов общественная жизнь кипела весьма бурно, какая-то часть молодежи искренне верила, что «наше поколение будет жить при коммунизме», индивидуализм и отрыв от масс считались признаками буржуазного образа жизни.

Юрий Владимирович, безусловно, был человеком общественным, человеком общества, даже, точнее сказать, физического сообщества. Его кипучая комсомольская деятельность, деятельность по воплощению произведений «физического искусства» совмещались с упорной научной работой. Он был дипломником и аспирантом И.С. Шапиро по теории атомного ядра. Когда мы непосредственно познакомились в конце второго тысячелетия благодаря моему товарищу С.В. Семенову, Юрий Владимирович рассказывал, что И.С. Шапиро, вероятно, первый предположил, что в слабых взаимодействиях может нарушаться четность. Со слов Ю.В. Гапонова, И.С. Шапиро обсуждал эту идею с Л.Д. Ландау, который признал её завиральной. Как мне кажется, этот случай оказал большое влияние на самого Юрия Владимировича, который в своей работе не принимал на веру суждения даже очень авторитетных ученых. Так, например, при обсуждении вопросов, связанных с объяснением осцилляций нейтрино, нового явления в физике, которое выходило за рамки созданной к тому времени Стандартной модели электрослабых взаимодействий, Юрий Владимирович высказывал свои идеи, которые существенно

расходились с используемыми большинством ученых представлениями, основанными на феноменологических моделях. Например, если главным признаком феноменологических моделей майорановских нейтрино является отсутствие у них сохраняющегося фермионного заряда, что отличает их от дираковских нейтрино, то Юрий Владимирович считал, что майорановские нейтрино могут обладать новыми сохраняющимися или почти сохраняющимися нейтринными зарядами. В своих работах по теории майорановских нейтрино он создал такие модели, в которых майорановским нейтрино можно сопоставить обобщенные нейтринные заряды.

Значительное место в последних работах Ю.В. Гапонова, посвященных нейтринной физике, занимает проблема оценки масс нейтрино. Такие оценки имеют большое значение для предсказания результатов экспериментов по поиску безнейтринного двойного бета-распада ядер, а также обоснования космологических моделей расширения Вселенной и интерпретации полученных данных космологических экспериментов. Безнейтринный двойной бета-распад возможен в случае, если нейтрино является майорановской частицей и обладает ненулевой массой. В настоящее время ведутся активные поиски такого распада, получены только ограничения сверху на возможные значения эффективной массы нейтрино. Ю.В. Гапоновым были получены оценки абсолютных значений масс нейтрино, которые не противоречат современным экспериментальным данным. Эти оценки были опубликованы в его последних работах.

Юрий Владимирович часто выступал с докладами о развитии теории нейтрино, как в нашей стране, так и за рубежом. До последних дней своей жизни он работал над проблемой адекватного описания майорановских нейтрино. В конце 2009 г. Юрий Владимирович обсуждал с нами, сотрудниками его Лаборатории теории электромагнитных и слабых процессов, свою большую статью, посвященную свойствам нейтрино, которую он готовил для журнала «Ядерная физика». В этой статье Юрий Владимирович суммировал свои результаты по моделям майорановских нейтрино, которые он опубликовал ранее в ДАН и в виде препринтов. Так, одна из последних его работ, посвященная трехфлейворной модели нейтрино, была

представлена академиком Е.П. Велиховым в ДАН и опубликована в 2008 г. Эта статья воспроизводится в настоящем сборнике. Практически законченная Юрием Владимировичем большая статья по моделям майорановских нейтрино была подготовлена к печати в журнал «Ядерная физика» и при содействии редакции журнала опубликована в начале 2011 г. в первом выпуске 74 тома. Эта и другие работы Ю.В. Гапонова, включая фундаментальные работы по Гамов-Теллеровскому резонансу (совместно с Ю.С. Лютостанским) и по распаду дейтрона под воздействием нейтринного излучения (совместно с И.В. Тютиным), собраны на стенде, посвященном его памяти, в нашей лаборатории.

Юрий Владимирович придавал большое значение математическим методам физических исследований. Он рассказывал, что на него в школьном возрасте оказала значительное влияние научно-популярная книга по математике С.П. Боброва «Волшебный двурог или правдивая история небывалых приключений нашего отважного друга Ильи Алексеевича Камова в неведомой стране, где правят: Догадка, Усидчивость, Находчивость, Терпение, Остроумие и Трудолюбие» и он даже собирался стать математиком, но потом все-таки выбрал физику и впоследствии не жалел об этом. Физфак и «Курчатовский институт» были альфой и омегой его жизни как физика. Он всегда старался быть в курсе основных событий на физфаке и в «Курчатовском институте». Так, например, он уделял большое внимание и принимал близко к сердцу предполагаемое объединение «КИ» с тремя ведущими физическими институтами: ПИЯФ, ИТЭФ и ИФВЭ. Он стремился не просто к формальному объединению, а к взаимному дополнению, в первую очередь, научных программ и сосредоточению сил на наиболее перспективных направлениях. Для осуществления этих целей предлагалось проводить раз в два или три года совместные научные конференции.

В 2006 г. по инициативе Юрия Владимировича наша лаборатория приняла участие в подготовке совместного мегапроекта трех научных центров: ОИЯИ, ИЯИ РАН и «КИ», под названием «Нейтрино и нейтринная космофизика». В рамках этого мегапроекта предполагалось соединить усилия многих отечественных экспериментаторов и теоретиков с целью развития

исследований в области физики нейтрино и нейтринной астрофизики. В течение семи лет предлагалось осуществить ряд работ. Например, создать и модернизировать крупные отечественные нейтринные детекторы и провести эксперименты на действующих исследовательских комплексах для изучения потоков нейтрино с целью получения принципиально новой информации о ядерных процессах в солнечных и земных недрах, свойствах нейтрино, для поиска темной материи и для разработки нейтринного метода диагностики ядерных реакторов. Подготовить и провести крупномасштабные эксперименты по поиску безнейтринного двойного бета-распада ряда сверхчистых обогащенных изотопов, полученных в результате развития уникальных отечественных технологий (центрифужной, лазерной и ИЦР - типов), а также сверхчувствительные эксперименты по бета-распаду трития, нейтрона и поиску электрического дипольного момента нейтрона. Поддержать российское участие в крупных международных проектах по физике нейтрино, организовать научный обмен и провести международные конференции и школы по направлениям мегапроекта с участием молодых специалистов. Впоследствии Юрий Владимирович стал инициатором развития нового направления, связанного с исследованием процессов слабых взаимодействий в звездах. В нашу лабораторию, входившую тогда в Институт молекулярной физики РНЦ «КИ», заместителем директора по науке которого являлся Ю.В. Гапонов, были приняты известные физики-теоретики, занимавшиеся астрофизическими процессами, приводящими к образованию тяжелых и сверхтяжелых элементов: Ю.С. Лютостанский, Д.К. Надёжин, И.В. Панов.

В октябре 2009 г. в ИМФ «КИ» была проведена конференция, приуроченная 75-летию профессора Ю.В. Гапонова, под названием «Современные проблемы физики нейтрино и астрофизики». Ю.В. Гапонов с большой увлеченностью рассказал о свойствах майорановских частиц и своих результатах в этой области. На конференции также выступили с докладами известные ученые: Г.В. Домогацкий, О.Г. Ряжская, Д.К. Надёжин, Ю.С. Лютостанский, Е.Х. Ахмедов, В.Н. Бруданин, В.П. Мартемьянов.

Через год в ИМФ «КИ» были организованы научные чтения, посвященные памяти Ю.В. Гапонова. Темы докладов

Ю.С. Лютостанского, Д.К. Надёжина, И.В. Панова, В.В. Хрущева и С.В. Семенова по образованию сверхтяжелых элементов в природе, роли нейтрино в эволюции сверхновых, свойствам майорановских нейтрино, двойному бета-распаду стабильных изотопов были близки научным интересам Юрия Владимировича.

Я благодарен Юрию Владимировичу за многочисленные обсуждения нерешенных вопросов нейтринной физики. Его увлеченность этой областью физики вдохновили и меня заняться исследованием нейтрино, необычные свойства которых, возможно, являются ключом к раскрытию тайн нашей Вселенной.

Товарищ

В. В. Чернуха

Судьба свела меня с Юрой Гапоновым на физфаке МГУ. За годы учебы состав групп на курсе менялся три раза, но мы всегда оказывались в одной группе. Наша студенческая жизнь началась в 1952 г. в очень дружной группе, где девочки на вечеринках быстро научили мальчиков танцевать. Тогда школьное обучение мальчиков и девочек было раздельное, а танцы в школьный аттестат зрелости не входили. «Продвинутые» мальчики старались помочь девочкам, для которых переход к вузовским требованиям давался трудно. Юра выделялся своими хорошими знаниями и отметками. Но девочки интересовались им не только из-за этого. Он был еще интересной и разносторонней личностью с лидерскими качествами, умением доброжелательно контактировать с людьми.

Со второго курса мы начали учиться в новом здании МГУ на Ленинских горах. Юра и я были избраны в комсомольские органы и стали делегатами знаменитой 4-й отчетно-выборной комсомольской конференции физфака, потребовавшей изменить качество преподавания и профессорско-преподавательский состав. Атмосфера и возможности нового здания физфака требовали нового качества обучения. И комсомольцы одержали победу. Мне показалось, что эта конференция оказала на Юру сильное впечатление, и общественная деятельность увлекла его. Он сблизился с лидерами «переворота», и круг его общественных интересов расширился. В нашей теоретической группе, собранной из сильных студентов, почти все учились на отлично, но общественная жилка проявилась, пожалуй, только у него. Он был избран секретарем комсомольской организации физфака, а его музыкальность и интерес к музыке позволили ему стать одним из создателей физфаковской самодеятельной художественной студии «Архимед» и из ее участниц выбрать себе жену.

После физфака я и Юра работали в разных институтах и виделись только на встречах курса, но я знал, что если обращусь к нему за помощью, он не откажет. И два раза в нужную минуту,

без лишних слов он мне помог. Эта его человеческая отзывчивость всегда в моей памяти.

Особенно важной оказалась его поддержка в 2007 г., когда я закончил свою 12-летнюю работу, которую хотел опубликовать. Мне нужна была профессиональная оценка от человека, который смог бы в нее вникнуть и честно высказать свое мнение о работе. Это была не простая для него просьба, так как моя работа выпадала из мейнстрима и, более того, я в ней попытался с более общих исходных позиций пересмотреть существующий физический взгляд на мироустройство. Ревизия, в частности, касалась и представлений о нейтрино, темы Юриного профессионального интереса.

Я обратился к Юре, так как он был именно таким нужным мне человеком: высокопрофессиональным и прямым. При встрече я попросил его ознакомиться с рукописью монографии, отметив, что мой подход позволяет изучать физику явлений, существование которых современная наука не признает.

– Если ты имеешь в виду НЛО и разную мистику, то я тоже это не признаю, - предупредил он меня.

– Да, там есть и про это, но я прошу тебя: посмотри, ты человек широкого мышления, тебе будет интересно.

Он взял толстенную рукопись, сказав, что почитает ее во время отпуска. После отпуска мы встретились.

– Это действительно интересно и нужно обязательно опубликовать. Давай подумаем, как это лучше сделать.

Я сказал, что еще один экземпляр рукописи у Жени Велихова.

– Давай тогда встретимся втроем и обсудим это.

Евгений Павлович предложил выбрать какой-то конкретный результат, например, решение проблемы объединения фундаментальных взаимодействий или вычисление масс лептонов и кварков, выполненное без использования бозона Хиггса, и в виде статьи предложить журналу. Но Юра возразил, что приемлемой по объему статьи не получится, но если и получится, то сегодня ситуация такова, что никакой физический журнал не станет публиковать работу, противоречащую установившимся взглядам. Согласились, что нужно публиковать монографию целиком. Надо сказать, что Велихов, учившийся с Юрой в одной группе, очень ценил его как ученого и

организатора, советовался с ним по решению некоторых институтских проблем. Юра, в свою очередь, считал Велихова руководителем с высочайшим потенциалом и старался поделиться с ним возникшими или назревающими, по его мнению, проблемами.

После описанной встречи Юра сказал мне, что познакомит меня с Юрием Владимировичем Линде, который поможет мне издать монографию. В 2008 г. она была опубликована.

«Но не надейся, что тебе удастся что-то опубликовать в журналах. Там выстроена крепостная стена, защищающая сложившиеся устои. Должно случиться какое-то потрясение, чтобы ворота этой крепости приоткрылись для таких работ, как твоя». Это смысл сказанного мне, когда я дарил ему экземпляр изданной монографии. Он оказался прав. Ворота закрыты и сейчас.

Я искренне благодарен Юрию Владимировичу Гапонову за товарищеское участие в моей профессиональной судьбе. И горжусь тем, что он стал первым читателем и первым рецензентом «Поляризационной теории Мироздания». Дружбу с ним ценили многие. Их добрую память о себе он заслужил своими человеческими качествами.

Коротко об авторах

Велихов Евгений Павлович – академик РАН, Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР и РФ, международной премии «Глобальная энергетика», премии им. М.Д. Миллионщикова АН СССР. В Курчатовском институте работает с 1961 г., президент Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Панченко Владислав Яковлевич - доктор физико-математических наук, академик РАН, профессор, заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт», директор Центра фундаментальных исследований, председатель Совета РФФИ.

Ахмедов Евгений Хакимович - доктор физ.-мат. наук. Окончил физфак МГУ в 1973 году. В Курчатовском институте с 1972 года, сначала как дипломник Ю.В. Гапонова, затем с 1988г.-сотрудник. В настоящее время профессор Института Макса Планка в Гейдельберге, Германия.

Бедняков Вадим Александрович – доктор физ.-мат. наук профессор, директор лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Гамалий Евгений Георгиевич – доктор физико-математических наук, профессор. Работал в Снежинске, затем в ФИАН-е. С 1992 г. работает в Австралийском Национальном Университете в Канберре.

Захаров Владимир Геннадиевич – кандидат физико-математических наук, доцент МАДИ.

Кессених Александр Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, Ведущий научный сотрудник Сектора истории физики и механики Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН.

Климушева Гертруда Васильевна – доктор физико-математических наук, профессор, Зав. Лабораторией спектроскопии кристаллов Института физики НАН Украины.

Линде Юрий Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт», генеральный директор НТА «Актис».

Лютостанский Юрий Степанович – доктор физико-математических наук, начальник Лаборатории астрофизики Физико-технического отделения НИЦ «Курчатовский институт». С 1970 по 1973 г. – аспирант Курчатовского института, затем работал в МИФИ, с 2004 г. работает в Курчатовском институте.

Малов Леонард Александрович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической физики ОИЯИ, Дубна.

Недорезов Владимир Георгиевич – доктор физико-математических наук, профессор, зав. Лабораторией фотоядерных реакций ИЯИ РАН.

Саперштейн Эдуард Евсеевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института общей и ядерной физики НИЦ «Курчатовский институт». В Курчатовском институте работает с 1965 г.

Семенов Сергей Викторович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Физико-технического отделения НИЦ «Курчатовский институт». В Курчатовском институте работает с 1995 г.

Харламов Андрей Александрович – окончил Физический факультет МГУ в 1974 г., работает в Институте океанологии РАН.

Хрущев Вячеслав Владимирович – доктор физико-математических наук, начальник Лаборатории теории электромагнитных и слабых процессов Физико-технического

отделения НИЦ «Курчатовский институт». Работает в Курчатовском институте с 1998 г.

Чернуха Виктор Владимирович – окончил физфак МГУ в 1958 г., старший научный сотрудник НИЦ “Курчатовский институт”.

ФОТОАЛЬБОМ



1. Юре 11 лет, 1945 г.



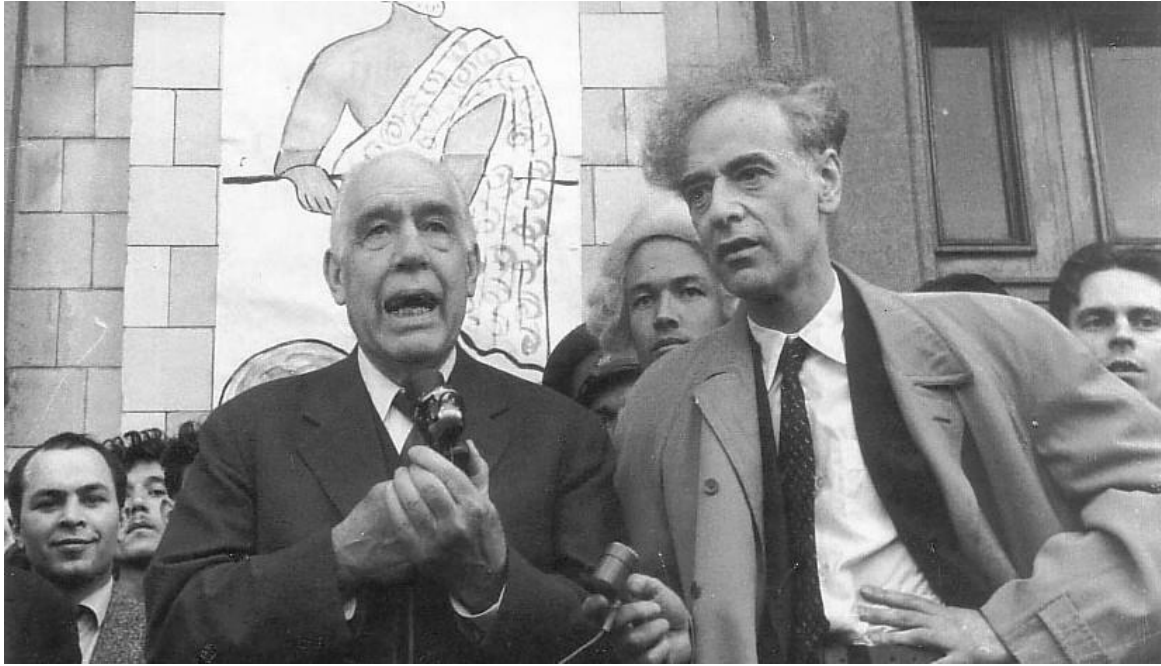
2. Гапонов Ю.В. с родителями: Барановой Н.А. и Гапоновым В.Т., 1956 г.



3. Ю.В. Гапонов, 1958 г.



4. Ю.В. Гапонов, 1978 г.



5. День физика на Физфаке, 1961 г.



6. Творческая студия «Архимед» в МГУ, 1965г.



7. Эдвард Теллер и Ю.В. Гапонов, Австрия, Вена 1992 г.



8. Ю.В. Гапонов и В. Новиков, Австрия, Лаксенбург, 2000 г.



9. Ю.В. Гапонов, Ханс Бор, Христиан Бор, Тисвильд, Дания, 2001г.



10. Доклад на международной конференции, Копенгаген, 2001 г.



11. Заседание Программно-консультативного Комитета ОИЯИ по ядерной физике (слева направо): А. Собичевский (Польша), Р. Брода (Польша), Ш. Бриансон (Франция), Ц. Вылов (Болгария), Ж. Дойч (Бельгия), Н. Янева (Болгария), Ю.В. Гапонов (Россия), Н. Роули (Франция), 2003г.



12. Ю.В. Гапонов выступает на семинаре, 2004 г.

Дубна, 6 января.
Ознакомительный визит в ОИЯИ
президента РНЦ «Курчатовский институт»
академика Е. П. Велихова (в центре)



Dubna, 6 January.
President of the Russian Scientific Centre
«Kurchatov Institute» Academician
E. Velikhov (centre) visits JINR

13. Ю.В. Гапонов, Г.Д. Ширков, М.Г. Иткис, В.Ю. Баранов, Е.П. Велихов, Ю.Ц. Оганесян, Ц.Д. Вылов и В.Г. Кадышевский, 2004 г.



14. Ю.В. Гапонов в Ботаническом саду, 2008 г.

Дубна, 19–20 июня. Сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике



15. ОИЯИ, 2008 г.



16. Ю.В. Гапонов, Д.К. Надёжин и О.Г. Ряжская, 2009 г.



17. Ю.С. Гапонов среди сотрудников своей лаборатории, 2009 г.



18. 75 лет Ю.В. Гапонову, семинар в «Курчатовском институте», 2009 г.



19. Лекция по истории советского атомного проекта в МАДИ, 2009 г.



20. Ю.С. Лютостанский и Ю.В. Гапонов, октябрь 2009 г.



21. Ю.В. Гапонов поздравляет Лабораторию ядерных проблем ОИЯИ с 60-ти лением, 18 декабря 2009 год.

Содержание.

Биография	3
Предисловие Президента НИЦ «Курчатовский институт» академика Е.П. Велихова	7
Избранные научные труды	9
Неупругое рассеяние нейтрино на дейтоне. <i>ЖЭТФ 47, 1926 (1964).</i>	11
Трехфлейворная паулиевская модель майорановских нейтрино и проблема нейтринных масс. <i>ДАН, 423, 621 (2008).</i>	16
Гигантский Гамов-Теллеровский резонанс в нейтронно- избыточных ядрах. <i>Ядерная физика, 73, 1403 (2010).</i>	24
Избранные публикации научных трудов	50
Воспоминания	57
<i>В.Я. Панченко.</i> Ю.В. Гапонов и физика изотопов.	59
<i>Е.Х. Ахмедов.</i> Вспоминая Ю.В. Гапонова.	64
<i>В.А. Бедняков.</i> О работе Ю.В. Гапонова в ПАК по ядерной Физике ОИЯИ.....	73
<i>В.А. Бедняков.</i> Ю.В. Гапонов в моей жизни.....	75
<i>В.А. Бедняков.</i> Роль Ю. В. Гапонова в установлении сотрудничества ОИЯИ-КИ, создание объединенной теоргруппы	84
<i>Е.Г. Гамалий.</i> О Ю.В. Гапонове.....	93
<i>В.Г. Захаров.</i> «Я не поэт и не брюнет».....	99
<i>А.В. Кессених, С.В. Семёнов.</i> Юрий Владимирович Гапонов – ученый и гражданин.	102
<i>Г.В. Климушева.</i> Каким был Юрий Гапонов в студенческие годы?!	114

<i>Ю.В. Линде.</i> Мой друг Юрий Гапонов.	118
<i>Ю.С. Лютостанский.</i> Учитель и друг - Юрий Владимирович Гапонов.	122
<i>Л.А. Малов.</i> Воспоминания о Ю.В. Гапонове.....	127
<i>В.Г. Недорезов.</i> О Ю.В. Гапонове, о Дании и о судьбе (письма из Копенгагена).....	132
<i>Э.Е. Саперштейн.</i> Воспоминания о моем друге Юре Гапонове.....	139
<i>А.А. Харламов, С.В. Семёнов.</i> Ю.В. Гапонов – художественный руководитель студии «Архимед».....	144
<i>В.В. Хрущев.</i> Памятные записки о Ю.В. Гапонове.	147
<i>В.В. Чернуха.</i> Товарищ.....	152
Коротко об авторах	155
Фотоальбом	159

Ученый, организатор науки, товарищ и учитель...
Книга о Гапонове Юрии Владимировиче.

Научный редактор:
доктор физ.-мат. наук Ю. С. Лютостанский

Редакционная группа:
Ю.В. Линде, В.В. Хрущев, С.В. Семенов,
Г.В. Поволоцкая

Подписано в печать 21.04.2014 г.
Формат 60x84/16. Печ. л. 10,75.
Тираж 150 экз. Заказ 8953.

Издательство «Тривант»
ЛР 071961 от 01.09.1999 г.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии издательства «Тривант».
142191, г. Москва, г. Троицк, м-н «В», д. 52.
Тел. 8 (495) 775-43-35, 8 (495) 851-09-67
E-mail: trovant@trtk.ru, <http://www.trovant.ru/>