

СЗГ

С-306

**ТРУДЫ СЕМИНАРА,
ПОСВЯЩЕННОГО 75-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Д.И.БЛОХИНЦЕВА**

Дубна 1986

Труды семинара,
посвященного 75-летию
со дня рождения Д.И.Блохинцева

C3Г
C-306

Дубна, 23 января 1983 года

(Под редакцией А.В.Ефремова и В.Н.Первушина)

Дорогому
Александрову
и семье
0 90 740
12.10.86.



(Ефремов)

Дубна 1986

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИИ ИИЯ



ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ БЛОХИНЦЕВ
Очерк научной деятельности

"Никто на свете не разбудит
Души, ушедшей на покой,
Но на Земле, тебе чужой,
Твои скитаться песни будут"

Д.И.Блохинцев х)

Есть в нашей стране хорошая традиция: называть улицы городов именами своих знаменитых граждан. К их числу принадлежат и улицы Блохинцева в Дубне и Обнинске, названные в честь выдающегося советского физика, крупнейшего организатора науки, соратника Курчатова по созданию, становлению и развитию атомной науки, техники и ядерной энергетики в нашей стране и странах социалистического содружества. "Имя Дмитрия Ивановича Блохинцева стоит в одном ряду с именами Сеченова, Тимирязева, Умова, Лебедева, Вернадского, Вавилова, Хохлова и многими другими, составляющими гордость нашего народа"^{xx}). 11 января ему бы исполнилось 75 лет.

Дмитрий Иванович Блохинцев обогатил мировую науку фундаментальными работами в области физики твердого тела и статистической физики, акустики, физики реакторов и атомной энергетики, квантовой механики, квантовой теории поля и квантовой электродинамики, физики высоких энергий и атомного ядра, философии и методологии науки; его роль в воспитании научных кадров физиков и инженеров в нашей стране и странах социализма широко известна и получила заслуженное признание. Дмитрию Ивановичу выпало счастье быть основателем многих научных направлений, но прежде всего он был личностью - феноменально многогранным и разносторонним человеком, ученым, инженером, изобретателем, педагогом, художником, поэтом, государственным и общественным деятелем, общение с которым доставляло радость.

х) В сб. "Муза в храме науки", М., 1982.

xx) "Правда" от 23 января 1980 г.

Сильное влияние на мировоззрение Д.И.Блохинцева оказало его знакомство с трудами К.Э.Циолковского и личная переписка с ним. От Циолковского Дмитрий Иванович воспринял тот дух русской науки начала XX века, который выражался не столько в стремлении к достижению конкретных научных результатов, сколько в создании целостного гармонического мировоззрения. Мировосприятию Циолковского было присуще преклонение перед красотой и гармонией мира, а также высочайшая степень уважения к Природе и Человеку. Именно по этой причине, — любил подчеркнуть Дмитрий Иванович, — Циолковский никогда не употреблял таких сочетаний, как завоевание или покорение космоса, а всегда говорил о его освоении. Д.И.Блохинцев сумел до конца жизни сохранить эти юношеские идеалы восприятия мира. С этого начального периода осталось у него все увеличивающееся с годами стремление к истине, которое заставляло его не только быть в курсе всех основных научных достижений как в физике, так и в других областях знаний, математике, философии, биологии, экономике и т.д., но и развивать собственные оригинальные взгляды и суждения.

Дмитрий Иванович считал, что довольно легко научиться решать уже поставленные задачи в какой-нибудь модной области современной физики. Почти любой человек, обладавший достаточно упорядоченным умом, может стать неплохим физиком-теоретиком. Труднее ставить задачи самому. Физиков, которые определяют свои интересы собственным мировоззрением, значительно меньше, но именно они чаще всего становятся авторами тех самых "модных" направлений в науке, которые дают пищу и работу умам многих.

Знаменитые опыты Резерфорда по расщеплению атома заставили юного Дмитрия Блохинцева, выпускника Московского промышленно-экономического техникума, обратить внимание на те завидные возможности, которые сулит ядерная энергия, и это определило его дальнейший путь. В 1926 году он поступил на физический факультет МГУ, где учился у таких замечательных ученых, как Л.И.Мандельштам, С.И.Вавилов, Н.И.Лузин, Д.Ф.Егоров, И.Е.Тамм.

То были годы становления квантовой механики и объяснения с ее помощью многих загадочных физических явлений. Д.И.Блохинцев поддается к актуальным исследованиям. Уже ранние его работы были отмечены большим мастерством и глубиной физической мысли. За свою аспирантскую работу он был признан достойным сразу степени доктора наук (1934 г.).

Д.И.Блохинцев вычисляет работу выхода электронов из металла, основываясь на ней, первый дает объяснение аномальным магнитным свойствам двухвалентных металлов, причиной которых явилось то обстоятельство, что в этих металлах энергия электрона зависит не

только от абсолютной величины его импульса, но и от направления импульса по отношению к осям кристалла. Он обобщает теорию Блоха на случай перекрывающихся зон. Особое значение имела полученная им формула для энергии перекрывающихся зон.

В это же время Д.И.Блохинцев открывает нелинейную зависимость излучаемого атомного света (в эффекте Штарка) от интенсивности падающего (1933 г.). Его работа была первым исследованием по нелинейной оптике, получившей ныне столь существенное развитие.

В последующие годы Д.И.Блохинцев первым дал объяснение механизму загадочного явления фосфоресценции. Основная идея этой работы прекрасно иллюстрирует образность мышления ученого. Он замечает, что наличие локальных примесей в фосфорах приводит к появлению локальных уровней между нижней зоной и зоной проводимости. Поэтому электрон, попавший на этот уровень, и "дырка" в нижней зоне оказываются пространственно разделенными, что существенно уменьшает вероятность их рекомбинации и приводит к аномально большому времени высвечивания.

В последующих работах Д.И.Блохинцев подробно развил эту основную идею и, в частности, исследовал кинетику фосфоресценции, первый объяснил экспериментально наблюдаемый ход высвечивания по времени.

Далее Д.И.Блохинцев обращается к эффекту выпрямления тока полупроводниками и первый находит простое и правильное объяснение этому явлению. Суть его объяснения состоит в том, что вблизи контакта двух полупроводников градиент электрического поля приводит к появлению объемного заряда, а стало быть, и к изменению электропроводности. Знак же этого изменения зависит от направления тока, что и обуславливает выпрямляющее действие системы.

Эти и последующие основополагающие работы Д.И.Блохинцева, в частности, разработка им теории гетерополярных и окрашенных кристаллов и теория электрического пробоя диэлектриков сыграли огромную роль в развитии исследований в области квантовой теории твердых тел и практического использования их результатов.

Уже в ранних работах Дмитрия Ивановича проявились глубокое понимание сущности квантовой механики, свежесть взглядов и оригинальность мышления, превосходящие порой дальнейшее развитие физики. Особенно характерна в этом отношении работа по вычислению "смещения спектральных линий", вызванного обратным действием поля излучения, доложенная на семинаре в Физическом институте АН СССР (1938 г.), которая по существу содержала теорию лэмбовского сдвига, открытого лишь десять лет спустя и послужившего началом создания квантовой электродинамики. Полученная Д.И.Блохинцевым формула для лэмбовского смещения отличается от знаменитой формулы Г.Бете лишь числовым множителем,

появившимся вследствие ультрафиолетового обрезания. К сожалению, это важнейшее открытие Д.И.Блохинцева не было понято современниками. Эта работа увидела свет лишь в 1958 г. в трудах Д.И.Блохинцева (хотя результаты ее были изложены ранее в обзоре Я.А.Сморodinского (УФН, 1949, т. XXXIX, вып. I, стр. 325).

В 1935 году Д.И.Блохинцев избирается профессором кафедры теоретической физики МГУ. С той поры и до последних дней жизни его деятельность неразрывно связана с физическим факультетом МГУ, где он заведовал кафедрой ядерной физики и подготовил многие поколения специалистов, необходимость в которых остро ощущалась в нашей стране. Дмитрий Иванович был одним из организаторов отделения ядерной физики физического факультета МГУ и создателем филиала МГУ и филиала Московского института радиотехники, электроники и автоматики в Дубне, задачи которых — приближение студенческой аудитории к лаборатории исследователя.

Дмитрий Иванович очень любил студенческую аудиторию и на каждую лекцию шел как на праздник. Он был частым гостем и в студенческом общежитии.

Среди его учеников много известных ученых, вносящих достойный вклад в развитие науки.

"Наука — дело таланта и призвания, — говорил он. — Теперь наука еще и дело коллективное. Но все же среди ученых независимо от званий, независимо от того, кто они — дипломники, аспиранты — есть особая категория людей, одержимых страстью к науке, ученых, великий талант которых лишь изредка доставляет им радость, но причиняет постоянную муку неудовлетворенности достигнутым. Именно на этих хрупких, немногих людях держится весь успех того или иного института. Эти люди обычно непрактичны, они легкоранимы и уязвимы, — их нужно беречь, их нужно охранять, они — белце журавли".

Дмитрием Ивановичем были созданы и прочитаны многие фундаментальные теоретические курсы, среди которых особо следует выделить курс квантовой механики, составивший основу первого в мире университетского учебника, выдержавшего с 1944 года 22 издания: шесть изданий в нашей стране и 16 в других странах мира на девяти языках. На нем было воспитано не одно поколение студентов-физиков. За труды по квантовой механике Д.И.Блохинцеву была присуждена Государственная премия СССР.

С 1935 по 1950 гг. Д.И.Блохинцев, наряду с научно-преподавательской деятельностью в МГУ, работает в физическом институте им. Лебедева АН СССР. В эти же годы Д.И.Блохинцев является членом Ученого совета Физического института АН УССР, где он руководит работами молодых украинских физиков. После освобождения Киева от фашистов Д.И.Блохинцев принимает активное участие в восстановлении науки на Украине.

В предвоенные годы внимание Дмитрия Ивановича было сосредоточено на принципиальных вопросах квантовой механики. Эта деятельность продолжалась и в послевоенный период. Блохинцев устанавливает соответствие между квантовым описанием системы частиц в фазовом пространстве и классической функцией распределения частиц, при этом, в частности, выявляет невозможность непосредственного переноса в классику квантового условия, выражающего неразличимость одинаковых частиц.

Д.И.Блохинцев первый вводит понятие "квазивероятности" (1940), к которому много позже пришел Дирак.

Д.И.Блохинцев устанавливает, что дифракционная картина не всегда дает возможность однозначного суждения о форме наблюдаемого объекта, что различные формы объектов могут давать сходные дифракционные картины; впервые показывает, что с помощью электронного микроскопа можно, при некоторых условиях, видеть атом. Он первый показывает, что, несмотря на обратимость времени, "принцип детального баланса" может и не соблюдаться.

Д.И.Блохинцев — автор концепции квантовых ансамблей. На основе этой концепции он первым дал объективную трактовку волновой функции. Такой подход, обладая большой эвристической силой, помогает устранить ряд внутренних противоречий в интерпретации квантовой механики и установить тесную связь между квантовой механикой и статистической физикой. Эта концепция "московской школы" отводит более скромную роль наблюдателю и подчеркивает всюду объективный характер квантовых ансамблей и управляющих ими закономерностей. Он первым осознал особую роль классического прибора в квантовой механике как неустойчивого состояния макроскопической системы. Тем самым был сделан важный шаг в преодолении барьера, подавленного авторитетом Нильса Бора, считавшего, что нет смысла объединять измерительный прибор с микроскопической системой, так как тогда потребуются классический прибор для изучения объединенной системы.

Работы Д.И.Блохинцева сыграли огромную роль в выработке методологических основ современной квантовой теории. В предисловии к своей книге "Основы квантовой механики" (пятое издание, 1976 г.) он писал: "Я всегда придавал большое значение правильной методологии, без владения которой даже самый отличный ум приобретает оттенок ремесленничества. Поэтому материалистическая методология, где явно, где менее явно проливается вся книга".

Особенно подробно на этих вопросах Д.И.Блохинцев останавливался в своих монографиях "Принципиальные вопросы квантовой механики" (1966 г.) и "Квантовая механика (лекции по избранным вопросам, 1981 г.)".

В годы войны Д.И.Блохинцев почти полностью переключается на работу по оборонной тематике в области акустики и вскоре становится

ведущим специалистом в этой области, создателем акустики неоднородных и движущихся сред. Исходя из уравнений газогидродинамики, Д.И.Блохинцев получает уравнения акустики для самого общего случая (уравнения Блохинцева), на основе которых он выводит ряд акустических законов, объясняет и рассчитывает разнообразные акустические явления в движущихся и неоднородных средах (в том числе турбулентных), касающихся, с одной стороны, механизма генерирования шума, а с другой - методов и средств его приема. Сюда относятся, в частности, излучение звука пропеллеров, распространение звука в турбулентной среде, возбуждение резонаторов потоком и методы снижения такого возбуждения, ветрозащита приемников звука от крупно- и мелкомасштабных флуктуаций набегающего потока и ряд других, составивших основу теории акустического перехвата самолетов и подводных лодок. Д.И.Блохинцевым сформулированы уравнения геометрической акустики.

Д.И.Блохинцев ввел чрезвычайно плодотворное понятие о псевдо-звуке как явлении, обладавшем формальными признаками звука, но не являющемся акустическим процессом. В отдельных своих проявлениях псевдозвук отождествляется с волнами Релея или с френелевской зоной излучения в электродинамике (хотя и не сводится к этим явлениям).

Дмитрий Иванович сформулировал теорему, определяющую условие, необходимое и достаточное для генерирования звука при движении тела в жидкости или при движении самой жидкости. Дальнейшее развитие этого вопроса привело к выводу о том, что в основе всякого излучения, в том числе акустического, лежат явления, аналогичные эффекту Вавилова-Черенкова. Идеи Дмитрия Ивановича, подчеркнувшего единство физических представлений аэродинамики, акустики и электродинамики, положили начало весьма плодотворной, акустико-электродинамической аналогии.

За эти работы Д.И.Блохинцев награжден орденом Ленина (1946 г.). Впоследствии они были объединены в монографии "Акустика неоднородной и движущейся среды" (1946 г.), изданной дважды в СССР и за рубежом, которая является классикой большого интенсивно развивающегося раздела физики. Сейчас ни одна отечественная или зарубежная работа в области физики шума турбулентного пограничного слоя, возникшего на фюзеляжах современных лайнеров, или шума реактивных струй их двигателей, не обходится без ссылок на книгу Д.И.Блохинцева как на основу новой акустики.

В последние годы войны и в послевоенные годы жизненно важной для нашей страны стала задача овладения атомной энергией. Начиная с 1947 года, Дмитрий Иванович в качестве директора научной лаборатории в Обнинске активно включается в работу по развитию советской атомной науки и техники, возглавляемую И.В.Курчатовым. Игорь Васильевич оказал большое влияние на формирование Д.И.Блохинцева как руководителя

крупнейших научно-технических проектов, способного сплотить коллектив и вдохновить его на выполнение государственных заданий.

И.В.Курчатов увидел в выдающемся физике-теоретике талант крупного организатора и инженера-исследователя. С тех пор имя Д.И.Блохинцева неразрывно связано с историей мирного атома. Вместе с Курчатовым Блохинцев стал инициатором создания первой в мире атомной электростанции (Обнинск).

В своей книге "Рождение мирного атома" Д.И.Блохинцев писал, что ему "... выпало счастье участвовать в великой эпопее создания советской атомной энергетики".

В 1950 году Д.И.Блохинцев назначается первым директором созданного им физико-энергетического института в Обнинске, а также научным руководителем работ по созданию и пуску первой в мире атомной электростанции^х. Д.И.Блохинцеву принадлежат физические и конструкторские расчеты реакторов этой первой АЭС. В середине 1954 года Первая атомная дала ток. 30-летний период успешной эксплуатации станции подтвердил правильность сделанного Д.И.Блохинцевым выбора типа реактора и основных параметров первой АЭС. За эту работу Д.И.Блохинцев удостоен Ленинской премии (1955 г.).

Доклад Д.И.Блохинцева о первой в мире советской атомной электростанции в Обнинске был основным докладом на Первой международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве (1955 г.).

В последующие годы Д.И.Блохинцев проводит расчеты и осуществляет научное руководство разработкой проекта и сооружения первых в Европе реакторов нового типа - перспективных в промышленном отношении реакторов на быстрых нейтронах с жидко-металлическим теплоносителем. Сейчас такие реакторы уже эксплуатируются и на других атомных электростанциях. Дмитрий Иванович Блохинцев также разработал эффективные методы расчета реакторов на медленных и промежуточных нейтронах. За выполнение важных государственных заданий по созданию атомной энергетики Д.И.Блохинцев удостоен звания Героя Социалистического Труда (1956 г.).

Реакторы привлекали внимание Д.И.Блохинцева не только как основа энергетических установок, но и как интенсивный источник нейтронов для самых разнообразных научных исследований. Д.И.Блохинцев - автор выдающегося изобретения (1955 г.) - импульсного быстродействующего реактора (ИБР-1 и ИБР-2), мощность импульса которого при весьма малой средней мощности не уступает самым мощным реакторам постоянного действия. Первый реактор такого типа - ИБР-1 был сооружен и пущен в Дубне (1960 г.)

^х Атомная энергия, т.46 (1979), вып.6.

в Лаборатории нейтронной физики под научным руководством и при непосредственном участии Д.И.Блохинцева. (Он часто называл его своим "приданым"). Руководимая Дмитрием Ивановичем группа по проектированию, сооружению и пуску ИБР-1 состояла в основном из сотрудников Физико-энергетического института. В результате многолетней работы этот реактор зарекомендовал себя как замечательный инструмент для исследований в ядерной физике, физике жидких и твердых тел и элементарных частиц. За эту работу Д.И.Блохинцев был удостоен Государственной премии СССР (1971 г.). В последующие годы Д.И.Блохинцев был научным руководителем проекта сооружения более совершенного и мощного реактора ИБР-2, руководил его физическим пуском (1977 г.) и до последних дней своей жизни (1979 г.) - подготовкой к энергетическому пуску. Недавно это последнее инженерное детище Дмитрия Ивановича Блохинцева выдало первый физический результат. Эксперимент на ИБР-2 окончательно закрыл гипотетическую частицу - аксион.

Д.И.Блохинцев был организатором Объединенного института ядерных исследований. В 1956 году Комитет Полномочных Представителей одиннадцати стран единогласно избрал его первым директором этого института. К работе в ОИЯИ были привлечены крупные ученые Советского Союза и социалистических стран. В дополнение к двум существовавшим в Дубне лабораториям: Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории высоких энергий, были созданы три новые лаборатории: Лаборатория ядерных реакций, Лаборатория нейтронной физики и Лаборатория теоретической физики, причем последние две - по инициативе Д.И.Блохинцева. За период пребывания Д.И.Блохинцева на посту директора ОИЯИ (1956-1965 гг) Институт окончательно оформился организационно, превратился в крупнейший научно-исследовательский центр, завоевавший своими исследованиями высокий авторитет и международное признание, стал кузницей научных кадров социалистических стран. В последующие годы (1965-1979 г.г.) Блохинцев возглавлял Лабораторию теоретической физики Объединенного института ядерных исследований. Он внес также огромный личный вклад в обеспечение мирового научного авторитета Дубны.

Внимание Дмитрия Ивановича всегда привлекали фундаментальные проблемы теоретической физики. В 1957 году, основываясь на обнаруженных группой М.Г.Мещерякова "дейтонных пиках" в реакциях квазиупругого рассеяния протонов высокой энергии на ядрах, Д.И.Блохинцев выдвигает и разрабатывает идею о флуктуациях плотности ядерного вещества, способных как единое целое воспринимать большой импульс. Идея "флуктонов Блохинцева" наиболее ярко проявилась через 20 лет, когда в реакциях с релятивистскими ядрами были обнаружены так называемые "кумулятивные" частицы. В дальнейшем Дмитрий Иванович принимал участие в разработке многокварковой интерпретации флуктонов. Именно им был посвящен

последний доклад Д.И.Блохинцева на конференции в Токио осенью 1978 года. Эти исследования выросли ныне в новое перспективное направление - релятивистскую ядерную физику. В частности, именно наличием многокварковых состояний объясняется сейчас так называемый "кор" ядерных сил.

Замечательное подтверждение идеи флуктонов было недавно получено в эксперименте NA-4 в ЦЕРНе по глубоконеупругому рассеянию мюонов на ядрах.

В те же годы Д.И.Блохинцев исследует (на основе оптической "эйкональной" модели) структуру нуклонов и впервые устанавливает ее деление на центральную и периферическую части, которым физики пользуются по сей день, первый приходит к заключению о доминирующей роли периферических взаимодействий. Он первый показывает противоречивость гидродинамического подхода к множественным процессам с основными принципами квантовой механики (1957 г.). Сила этой критики все больше начинает проявлять себя сейчас по мере расширения корреляционных и спиновых измерений.

Дмитрием Ивановичем была предложена (1960 г.) идея существования нескольких вакуумов в квантовой теории поля и спонтанного перехода между ними. Эта идея интенсивно используется в современных единых теориях элементарных частиц. Им впервые было указано на возможность существования так называемого "унитарного предела" в слабых взаимодействиях (1957 г.) и на границу применимости квантовой электродинамики.

Большой и важный цикл работ Д.И.Блохинцева посвящен квантовой теории поля, нелинейным и нелокальным теориям, негамильтонову подходу, стохастической геометрии пространства-времени. В частности, для нелокальных полей Д.И.Блохинцевым впервые показана возможность отказа от конечности распространения сигнала "в малом" без существенного нарушения этого фундаментального закона в микромире. Д.И.Блохинцев предложил принципиально новый подход к нелокальным полям, основанный на гипотезе стохастических флуктуаций метрики пространства-времени.

Исследуя существенно нелинейные поля, Д.И.Блохинцев приходит к важному заключению о том, что понятие точечных координат теряет смысл и требует изменения геометрии микромира, если спектр масс частиц оказывается ограниченным сверху (связь физики с геометрией).

Эти вопросы нашли свое отражение в книге Д.И.Блохинцева "Пространство и время в микромире", изданной в 1970 году и в 1982 году в нашей стране и многократно переизданной за рубежом.

Немало времени было отдано Дмитрием Ивановичем Блохинцевым поискам негамильтонова S' -матричного метода в теории поля, который заменил бы традиционный гамильтонов формализм. Д.И.Блохинцев впервые

предложил конкретный вариант математического аппарата такого метода (1947 г.), основанный на введении им нового понятия "элементарной матрицы рассеяния". Этот аппарат дал результаты, совпадающие с приближениями обычной релятивистски-инвариантной теории возмущений. Это был существенный шаг в развитии квантовой теории поля.

Творческая активность Дмитрия Ивановича не угасала до самых последних дней его жизни. Он исследовал проблему аномально малого времени удержания ультрахолодных нейтронов и предложил простой механизм объяснения этого эффекта - нагревание УХН адсорбированным поверхностью водородом, который находит все большее экспериментальное подтверждение. В частности, недавно получены новые данные по температурной зависимости времени хранения УХН, которые подтверждают этот механизм.

Д.И.Блохинцев работает над одной из наиболее сложных проблем современной теории - проблемой удержания кварков, и предлагает оригинальную гипотезу причины этого явления. В последнее время его мысли постоянно обращались к "великому взрыву" в космологии. Анализируя модель Фридмана, Д.И.Блохинцев пришел к важному заключению о том, что видимая часть нашей Вселенной не могла образоваться в пределах четырехмерного мира, и предположил свою оригинальную гипотезу о существовании более обширного метапространства, в котором соударяются метатела и антитела. По гипотезе Д.И.Блохинцева и наша Вселенная образовалась при столкновении таких метател. Из этой гипотезы вытекает важное следствие - возможность залета метател из метапространства в наш, четырехмерный мир, и тем самым - возникновение взрывов большой энергии.

Дмитрий Иванович всегда проявлял большой интерес к философии и методологии науки. Не раз приходилось ему отстаивать в дискуссиях идеи диалектического материализма как от его противников, так и от примитивных защитников. Много внимания им было уделено борьбе за закон сохранения энергии как основы материалистического естествознания, за марксистское понимание теории относительности и современной атомистики. Так, в своей первой книге "Что такое теория относительности?" Д.И.Блохинцев дает не только максимально доступное изложение этой теории, но и первое правильное ее освещение, на основе диалектического материализма. Особое значение он придавал таким своим работам, как "Ленин и физика", "О соотношении прикладных и фундаментальных исследований", где, основываясь на особенностях человека как биологического вида: любознательности, расширенной передаче информации от поколения к поколению, которые обусловили отрыв человека от остального живого мира, потребности в эмоциональном контакте с внешним миром, приходит к заключению о неизбежности преимущественного

роста активности людей в производстве идей. Очень интересны неопубликованные пока в полном объеме его последние труды "Наука и искусство" и "Очерки по материалистической философии".

Присущий Д.И.Блохинцеву дар предвидения проявился не только в его научных и философских работах, но и в организации им совещаний, в частности, совещаний по нелокальной квантовой теории поля (которые, по существу, были совещаниями по фундаментальным проблемам теории поля) в период ее почти полного отрицания, именно в то время, когда нужно было иметь смелость, чтобы предвидеть последующий ренессанс тех идей в теоретической физике, которые доминируют в настоящее время. Д.И.Блохинцев был бессменным председателем этих уникальных совещаний 1964-1979 гг.

В соответствии со своим пониманием творческой деятельности, Дмитрий Иванович предлагал такую организацию научного совещания, которая давала бы его участникам как можно больше досуга (не отдыха, а досуга - в том смысле этого слова, какой в него вкладывали древние греки, и которого так мало в современной жизни). Он считал, что полезно не только слушать доклады, но еще полезнее беседовать с интересными собеседниками, которых редко видишь.

Конференции и совещания, организуемые под руководством Дмитрия Ивановича, тщательно продуманные и спланированные, давали участникам возможность максимальной самоотдачи. В этом одна из причин неуклонного роста их популярности.

Д.И.Блохинцеву принадлежит главная роль в установлении первых научных обменов между ЦЕРНом (Женева) и ОИЯИ, в организации многих международных конференций и симпозиумов, в том числе Rochesterских конференций - крупнейших конференций по физике высоких энергий.

Дмитрий Иванович Блохинцев был выдающимся государственным и общественным деятелем: членом Советского комитета защиты мира, делегатом XIII съезда КПСС, советником Научного совета при генеральном секретаре ООН, вице-президентом (1963-1966 гг.) и президентом (1966-1969 гг.) Союза чистой и прикладной физики (ИСПАП, ИНЕСКО, ООН), членом Комитета по Ленинским и Государственным премиям при Совете Министров СССР и большого числа комиссий, ученых советов и редколлегий.

Заслуги Д.И.Блохинцева отмечены самыми высокими наградами, советскими и зарубежными: ему присвоено звание Героя Социалистического Труда, он является лауреатом Ленинской и двух Государственных премий СССР, в числе его наград - четыре ордена Ленина, орден Октябрьской Революции, орден Трудового Красного Знамени, именная Золотая медаль Академии наук ЧССР, орден Кирилла и Мефодия I-й степени (НРБ), высшие ордена Румынии, Монголии и многие другие ордена и медали СССР и социалистических стран.

Общественная деятельность Д.И.Блохинцева, активного борца за мир, отмечена Почетной грамотой Всемирного Совета Мира за выдающийся вклад в дело укрепления мира (1969).

Д.И.Блохинцев был избран членом академий наук многих стран мира и Почетным доктором ряда университетов.

Ученый, гражданин, трибун, страстный борец за мир, Д.И.Блохинцев в своих статьях и выступлениях неоднократно подчеркивал, что ученый не должен замыкаться в узкопрофессиональной скорлупе: "... Наш долг, великий долг ученых и инженеров нашего времени, и никто не должен от этого уклоняться, состоит в том, чтобы разъяснять всем людям, какая угроза висит над миром, пусть тогда гнев всего человечества остановит безумцев атомной войны".

Многогранность Д.И.Блохинцева, его феноменальная универсальность проявились не только в научном, но и в эстетическом восприятии мира. Он был оригинальным поэтом и художником, картины которого неоднократно демонстрировались на выставках, а их репродукции печатались в журналах и газетах.

Через всю жизнь пронес Дмитрий Иванович любовь к поэзии, многие его стихи печатались в журналах и опубликованы в сборнике "Муза в храме науки" (1982 г.). Но большая часть его стихов еще ждет публикаций.

В своих картинах и стихах он — тонкий, жизнеутверждающий психолог, внимательный наблюдатель, размышляющий философ.

Д.И.Блохинцев глубоко понимал и сознавал процесс творческого мышления, направленный на создание нового в науке, искусстве. "Творчество, — говорил он, — это не волевой акт, а особое состояние духа и разума, вовлекающее в процесс мышления богатые эстетические переживания".

Исходной идеей Д.И.Блохинцева в его педагогической деятельности было "усиление интеллекта" — творческой способности человека.

Личное обаяние остроумного собеседника, неповторимое сочетание спокойствия, кипучей творческой энергии, которой Дмитрий Иванович всегда щедро делился, вдохновляя на свершения, оставляли неизгладимое впечатление. Суть его личности можно выразить одним словом — творчество, и само общение с ним доставляло радость творчества. Собеседник Дмитрия Ивановича начинал чувствовать себя творческой личностью и приобретал веру в собственные силы.

Лучшей нашей благодарностью ему и лучшей памятью о нем будет наша творческая работа в поисках истины, к которой всегда стремился Дмитрий Иванович Блохинцев.

Доктор физико-математических наук
Доктор физико-математических наук
Доктор физико-математических наук

Б.М.БАРБАШОВ
А.В.ЕФРЕМОВ
В.Н.ПЕРВУШИН



▲
Март 1956. Первая встреча Полномочных Представителей стран-участниц по учреждению ОИЯИ.
▼





Первая дирекция ОИАИ. Вверху: на Ученом совете. М.Даньш, Д.И.Блохинцев, В.Вотруба, Р.М.Лебедев. Внизу: И.М.Франк, М.Даньш, В.П.Джелепов, В.Вотруба, В.Н.Сергиенко, Д.И.Блохинцев, В.И.Векслер, А.М.Рыжов, Н.Н.Боголюбов, Г.Н.Флеров.



128872



Д.И.Блохинцев и Н.Н.Боголюбов.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

50 ЛЕТ СОВЕТСКОЙ НАУКИ

Д.И.Блохинцев

(Фонограмма выступления на общем собрании ЛТФ ОИЯИ в 1967 г.)

Рождение нашего государства связано с именем Владимира Ильича Ленина. С его же именем связано и становление нашей науки. В самое трудное для страны время, в эпоху гражданской войны, в эпоху военного коммунизма Владимир Ильич Ленин постоянно уделял большое внимание науке.

Тогда речь шла о простом: сохранить ученых, помочь им. Максим Горький, насколько я знаю, принимал в этом деле самое активное участие. Была создана комиссия по содействию ученым, которая работала потом многие годы. Ее деятельность, конечно, была особенно важна в тот трудный для нас период.

В те же трудные времена началась организация институтов. Это мне кажется очень знаменательным и характерным для нашей страны. На моей памяти такое повторялось дважды, когда в трудное время предпринимался шаг, который мог бы показаться несвоевременным ни для становления нашей науки в те годы, ни для проблемы мирного использования атомной энергии в 1945-46 гг.

В первые же годы Советской власти Лениным был выдвинут лозунг: "Социализм есть советская власть плюс электрификация всей страны". В то же очень тяжелое время создается и знаменитый план ГОЭРЛО, который как-то сразу открыл путь, перспективу для науки и техники. Начали создаваться институты. Вот те из них, которые мне ближе. ЦАГИ - Центральный аэрогидродинамический институт, сыгравший огромную роль в развитии нашей авиации и гидродинамической науки. В тот же период была создана Военно-воздушная академия имени Жуковского, которая имела не только чисто военное, но и большое техническое и научное значение. Помню, когда я был подростком, в ЦАГИ мне приходилось иметь дело с аэросанями, мотоциклами - дело, как видите, стояло не на очень высоком уровне. Самолеты пошли уже несколько позднее.

В Ленинграде по инициативе Абрама Федоровича Иоффе был создан Физико-технический институт, создан Оптико-механический институт, в котором с самого начала работали такие люди, как Дмитрий Сергеевич Рождественский, Сергей Иванович Вавилов. Отсюда пошла вся наша оптическая промышленность. Был создан Радиовый институт, возглавляемый В.Г.Хлопиным. Работали в Ленинграде такие теоретики, как Яков Ильич Френкель, Александр

Александрович Фридман, работы которого мы все знаем - они и сейчас имеют большое значение. На заводе "Светлана", где мне пришлось делать дипломную работу, была создана лаборатория под руководством С.А.Векшинского. Собственно, она была прекрасным исследовательским институтом, хотя и небольшим по тогдашним масштабам, но от которого пошла вся наша ламповая радиотехника. В частности, мне была поручена работа, в которой надо было узнать, чем покрыт волосок данной лампочки. Эта лампочка была единственной.

Тесная связь науки с техникой в то время была очень характерной чертой. Развивались физика твердого тела, теории электрического прохода, тонкослойной изоляции, прочности, физика полупроводников и другие аналогичные направления. Это было естественно и находило отклик у ученых. Поэтому понимание техники и любовь к ней остались у многих людей того поколения. Впоследствии это оказалось очень важно. Такие люди, как Игорь Васильевич Курчатов, Анатолий Петрович Александров, возглавлявшие Институт атомной энергии, Исаак Константинович Кикоин и многие другие, кто вышел из Ленинградского Физико-технического института, прекрасно понимали инженерное дело. Именно благодаря этому в военное и послевоенное время удалось решить, как вы знаете, очень важные для нашей страны проблемы. Замечу кстати, что ведь и первый наш физический институт назывался Физико-техническим. Из него вышли Харьковский физико-технический институт и ряд других.

Что происходило в Москве? Здесь центром были физический факультет МГУ и вновь созданный Физический институт. В отличие от Ленинграда, где обстановка была менее острой, в Москве произошло столкновение, разделение на группы: с одной стороны, 19-й век - Аркадий Климентьевич Тимирязев (сын "большого" Тимирязева, которого вы все хорошо знаете), Кастерин, Глаголева-Аркадьева, Яковлев, Млодзиевский, которые были явно воспитаны в традициях прошлого столетия; с другой - ученые нового, 20-го века, которых представлял Петр Петрович Лазарев (он был уже немолодой человек, биофизик), несколько позднее появились Сергей Иванович Вавилов, Леонид Исаакович Мандельштам, получивший образование в Европе, Игорь Евгеньевич Тамм, Борис Алексеевич Введенский и другие.

Кстати сказать, сам 19-й век был тогда очень нам близок. Даже поразительно, как близок. Например, недавно перелистывая Толстого, я обнаружил, что Константин Левин читал "Теплоту" Тендала. Мы ведь тоже очень серьезно читали этот учебник; учились по учебнику Краевича, в котором об атомах говорилось так: на полутора страничках петитом излагалась атомная гипотеза. (Хорошо помню, что ударение стояло именно так!) .

В этой связи веков были и положительные стороны. Вот что писал о себе Климент Тимирязев (старший Тимирязев): "Для меня лично наука была все. К этому чувству не примешивалось никаких соображений о карьере. Не потому, что я находился в особо благоприятных условиях. Нет, я сам зарабатывал на свое пропитание. Просто мысли о карьере, о будущем не было в голове. Слишком она была полна наукой".

Мне довелось встречать много таких людей. Например, Владимира Константиновича Аркадьева, его супругу Александру Андреевну Глаголеву-Аркадьеву. Мы у них начинали работать еще студентами. У нас было впечатление, что эти люди занимались наукой буквально как дети, т.е. искренне, увлеченно. Иногда они просто развлекались. Помню, они сами сделали рентгеновскую трубку. И для них было большим удовольствием показать студентам, что такое рентгеновская трубка: можно на нее положить руку и видеть все кости. Развлекались чувствительным пламенем, которое реагирует на звук. Конечно, это были просто развлечения. Но этими людьми, надо сказать, были сделаны очень хорошие работы по магнетизму, по спектру волн.

Так что если спросить, что было особо характерным для выдающихся людей того времени, я бы ответил: "Их принципы и их поступки не противоречили друг другу. Это, пожалуй, была наиболее характерная черта, которая приводила к некоторому равновесию между разумом и эмоциями ..."

УЧЕНЫЙ И ИНЖЕНЕР

И.М.ФРАНК - академик, директор Лаборатории
нейтронной физики ОИЯИ

Мы прослушали здесь на заседании короткую магнитофонную запись выступления Дмитрия Ивановича. Радостно было услышать его так хорошо знакомый голос. Из длинной цепи воспоминаний, возникших в связи с этим в моей памяти, я расскажу только о немногом. Начну с недавних событий.

Вы знаете, что реактор ИБР-2 в 1982г. стал инструментом для работы физиков. Горько сознавать, что Дмитрий Иванович не дожил до этого времени. С самого начала работы по созданию ИБР-2 Д.И.Блохинцев был научным руководителем его проекта. Он с увлечением занимался этой инженерной работой до последнего дня своей жизни, т.е. в течение примерно 10 лет. Мне кажется, что в этой деятельности у него проявились такие особенности характера, которые довольно редко сочетаются в одном человеке. Он умел трезво оценивать ситуацию, никогда не приуменьшая трудностей и даже, пожалуй, их подчеркивая. Вместе с тем он обладал удивительным оптимизмом и находчивостью, позволявшими ему предлагать оптимальный выход из трудных положений. При этом его исключительно точное и меткое остроумие поддерживали бодрость и облегчали работу коллективу.

Вернемся теперь на четверть века и даже более, чем на четверть века, назад. Зародился первый ИБР. Хотя в этой работе участвовали многие специалисты, но от возникновения идеи и до осуществления ее в Дубне этот маленький реактор был детищем Дмитрия Ивановича. Недавно кто-то совершенно правильно вспомнил его слова о том, что это было приданым, которое он привез из Обнин-

ска. ИБР - реактор принципиально новой конструкции, и поэтому работа по его созданию вовсе не была безоблачной и простой. Появились всякого рода мрачные предсказания. Одни "пророки" утверждали, что ИБР - это установка, которую нельзя строить, потому что она опасна и может взорваться. Жизнь опровергла это утверждение, но в свое время Дмитрию Ивановичу пришлось доказывать, что это не так. Второе возражение опровергнуть было еще труднее. Рассуждение было таково: длительность нейтронной вспышки в реакторе ИБР - десятки микросекунд, и ее якобы даже в принципе укоротить нельзя. Ускоритель способен давать значительно более короткие вспышки. Поэтому для нейтронной спектроскопии неизмеримо лучшим является ускоритель, а ИБР вообще строить не следует. Противопоставление ускорителей ИБРу на самом деле незаконно. Каждая из этих установок имеет свои преимущества, в известной мере дополняющие друг друга. Дмитрию Ивановичу и мне пришлось это доказывать. Когда создание ИБРа в 1960 г. было осуществлено, то опыт его эксплуатации показал, что это в самом деле так. Действительно, имеется множество задач, в которых нет необходимости в предельно высоких разрешениях нейтронного спектрометра, т.е. очень коротких нейтронных вспышках, но зато важна их большая интенсивность, особенно в области тепловых и медленных нейтронов. Это свойственно реакторам типа ИБР.

Здесь уже говорилось о том, что многие идеи Дмитрия Ивановича имеют счастливую судьбу. Это относится и к его инженерной работе по созданию первого реактора ИБР. Реактор строился для работ по нейтронной спектроскопии. Как оказалось, это далеко не единственное его назначение. Работы сотрудников Лаборатории нейтронной физики, особенно Ф.Л.Шапиро, показали, что он очень перспективен и для исследований конденсированных сред. Исследования конденсированных сред с помощью нейтронов в 60-е годы только еще зарождались, а импульсных методов для этих целей просто не существовало. И вот на ИБР'е они были развиты. Эта возможность оказалась необычайно

плодотворной. Сейчас в различных странах строятся установки специально для исследования конденсированных сред импульсными методами.

Еще одно существенное усовершенствование ИБР'а состояло в соединении реактора с ускорителем-инжектором. Стало возможным получать короткие нейтронные вспышки, необходимые для ряда исследований по ядерной физике. Так было опровергнуто утверждение, что длительность импульса ИБР'а принципиально невозможно сократить. Первый ИБР в 1969-1970 гг. был реконструирован, и мощность его повышена почти на порядок. Новый реактор - ИБР-30 и сейчас стоит в одном ряду с лучшими исследовательскими источниками нейтронов. На нем выполнен ряд первоклассных работ и, в частности, открытие в Лаборатории нейтронной физики в 1981 г. резонансного эффекта несохранения четности.

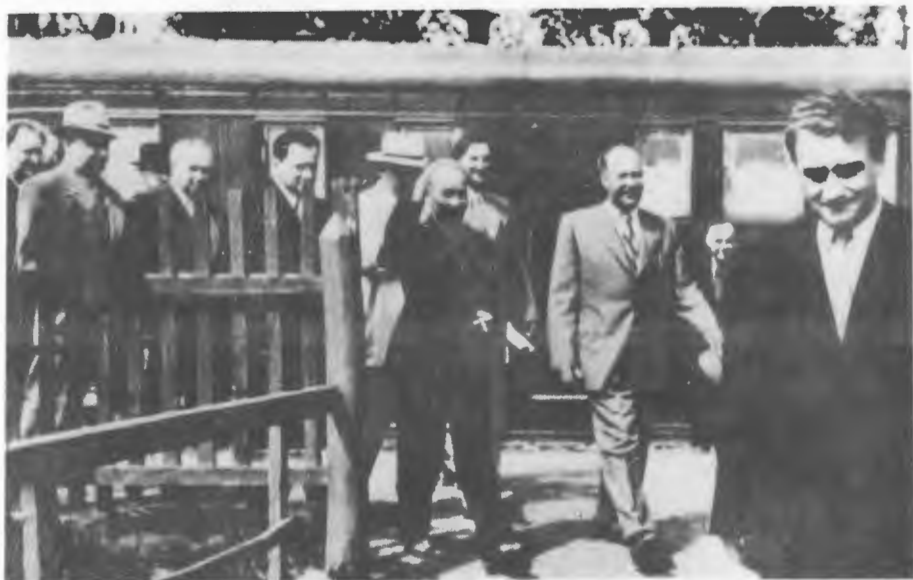
Таким образом, последующее развитие в Лаборатории нейтронной физики первого реактора, который появился благодаря Д.И.Блохинцеву, оказалось очень плодотворным.

В этой цепочке появление ИБР-2, конечно, не было случайным - это закономерное следствие того, что было выяснено в предшествующие годы. В самом деле, как показали физики, при сравнении возможностей проведения целого ряда исследований на реакторе ИБР и на обычном реакторе надо сравнивать импульсный поток нейтронов со стационарным потоком в этих установках. Однако стационарный поток в лучших современных исследовательских реакторах уже достиг предела, повышать который практически невозможно. Что касается импульсного реактора типа ИБР, то в нем таких ограничений нет. Именно эта идея и была заложена в реакторе ИБР-2, и она в самом деле оправдалась. Сейчас ИБР-2, в создание которого Дмитрий Иванович вложил так много труда, по своему импульсному потоку превосходит в несколько раз все, чем располагают физики в других местах.

Теперь я хотел бы от нашего времени мысленно вернуться далеко назад. В 20-е годы вместе с Д.И.Блохинцевым, М.А.Марковым,

Ш.И.Драбкиной, В.В.Антоновым-Романовским и др. мы учились в одной группе Московского университета. В прослушанной нами сейчас магнитофонной записи выступления Дмитрия Ивановича содержится упоминания о заводе "Светлана" и об академике Векшинском. Упоминание не случайное. В конце студенческой жизни Дмитрий Иванович был направлен на практику в Ленинград на завод "Светлана" и работал там в заводской лаборатории, которой руководил С.А.Векшинский. Перед ним была поставлена сложная экспериментальная задача - сделать спектральный анализ нити лампы, которая имела в единственном экземпляре и при анализе разрушалась. Он справился с этим блестяще. Я в то время также был на практике в Ленинграде и живо помню и это и, разумеется, многое другое из нашей студенческой жизни.

В заключение хочу вспомнить о дне, который отстоит от нашей студенческой поры менее чем на десять лет, то есть на срок не очень большой с точки зрения людей моего поколения. Я имею в виду защиту Дмитрием Ивановичем диссертации на Ученом совете физического факультета Московского университета. Защита прошла прекрасно, и вместо кандидатской степени ему была сразу присуждена степень доктора наук. Было отчетливо видно, что Дмитрий Иванович - бесспорно, сложившийся ученый, уже внесший весомый вклад в науку. Ведь степень доктора, минуя степень кандидата, редко когда дают. Важнее, пожалуй, другое. Всем присутствовавшим на защите стало очевидно: перед ними выступил ученый, работы которого богаты идеями и новыми начинаниями. Возникло впечатление, что Дмитрий Иванович - человек, перед которым открыта широкая дорога в будущее науки. Мы знаем, что это впечатление оказалось правильным.



Хо Ши Мин (снимок сверху) и П.Тольятти (внизу) в Обнинске.





Пусковая бригада ИБР-1, слева направо: Д.И.Блохинцев, Н.К.Николаев, Ю.Г.Блюмкина, В.Ф.Украинцев, Ю.Я.Стависский, В.П.Зиновьев, С.Г.Скворцов.



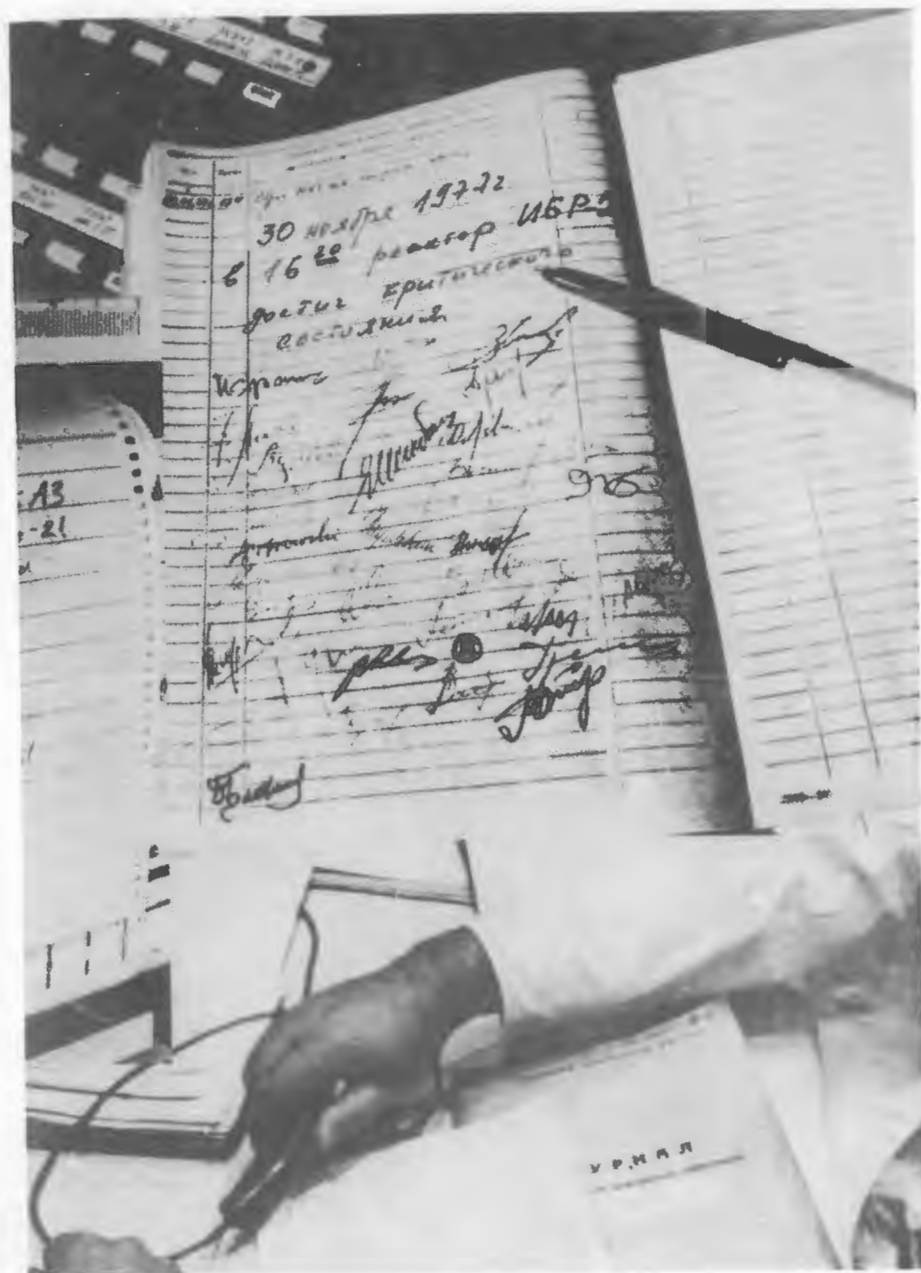
Субботник на строительстве ИБР-2.



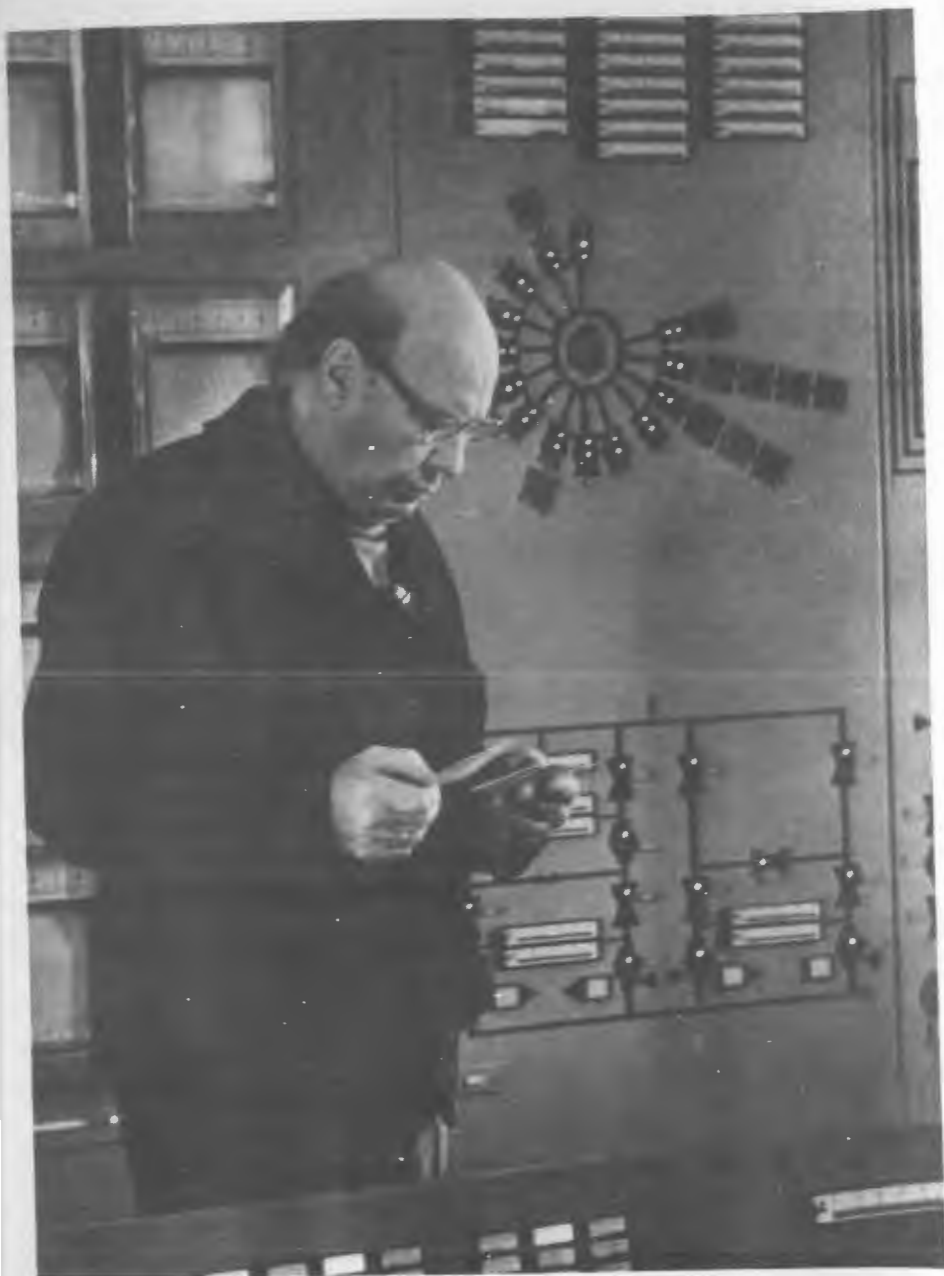
Здесь будет ИБР-2.



Есть ИБР-2!



Росписи в вахтенном журнале ИБР-2.



На пульте управления ИБР-2.



Сложная физическая проблема. Слева направо: С.Д.Ананьев, Д.И.Блохинцев, Е.П.Шабалин.

СТРАСТНЫЙ БОРЕЦ ЗА МИР

В.П. ДЖЕЛЕПОВ - член-корреспондент АН СССР,
директор Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ

Здесь было много сказано о Дмитрии Ивановиче Блохинцеве как об ученом с мировым именем, о его выдающемся вкладе в теоретическую физику атомного ядра и элементарных частиц, в разработку и создание атомных реакторов, стационарных и импульсных, в акустику, в философию и методологию, естествознание и многие другие области науки и техники. Дмитрий Иванович был действительно удивительно одаренным не только в научном плане, он был человеком глубокого и широкого интеллекта.

Я хочу коснуться здесь еще ряда замечательных и впечатляющих граней его натуры. Он был тонким знатоком живописи и сам прекрасно рисовал: акварелью, маслом, карандашами. Рисовал быстро и при этом всегда тонко и в то же время четко выражал в рисунке свою главную идею и мысль. Он всегда очень охотно показывал свои рисунки, в особенности новые, и, бывая в его доме, я всякий раз испытывал большое удовольствие, рассматривая их.

Особенно его волновала мысль о будущем человечества в условиях овладения атомной энергией, и на эту тему у него было написано довольно много картин.

Дмитрий Иванович очень любил посещать музеи, картинные галереи, выставки. Я помню, как всякий раз, когда мы бывали на конференциях за рубежом: в Нью-Йорке, Чикаго, Париже, Женеве, Вене, Токио, Будапеште, Берлине - он говорил: "Нужно найти время, чтобы обязательно посмотреть такую-то галерею или такой-то музей". И мчался туда, а возвращаясь, ярко рассказывал о виденном. Благодаря ему я побывал в ряде музеев, куда у меня не хватило бы фантазии пойти.

Он обладал редким даром подсмотреть и увидеть то, что другие не видели и не поняли. Было бы хорошо как-нибудь организовать в Дубне выставку его рисунков. Но, как я узнал только что (и это очень приятно), сегодня мы сможем увидеть несколько диапозитивов, сделанных с его картин.

Дмитрий Иванович был большим патриотом нашей Родины и активным пропагандистом последовательно проводящейся КПСС ленинской политики мирного сосуществования государств с разными политическими системами, активным борцом за мир. Особенно ярко об этом свидетельствует тот факт, что именно он явился руководителем создания первой атом-

ной установки, которая имела единственное предназначение - использование ядерной энергии в мирных целях. Я имею в виду первую в мире атомную электростанцию, построенную под руководством Дмитрия Ивановича в Обнинске. Ее сооружение явилось яркой демонстрацией мирного политического курса, по которому идет наша страна. Это важное обстоятельство было отмечено многими политическими деятелями разных стран. В своей книге "Рождение мирного атома" Дмитрий Иванович говорит, например, что Генеральный секретарь Коммунистической партии Италии П.Тольятти во время посещения атомной электростанции подчеркнул политическое значение пуска первой атомной электростанции в Советском Союзе как убедительную демонстрацию мирных намерений страны Советов и доказательство технической возможности мирного использования атомной энергии. До этого, - заметил П.Тольятти, - у нас в народе часто говорили: СССР и США - это "Bomba atomika".

Говоря о затронутой мною теме глубоко гуманного мировоззрения Дмитрия Ивановича, его активной позиции в деле защиты мира, я хочу рассказать вам один эпизод. Это произошло во время пребывания нашей небольшой советской делегации в составе Д.И.Блохинцева (глава делегации), С.Я.Никитина, Л.Б.Окуня и меня в США в начале ноября 1957 г. Там, неподалеку от Сан-Франциско, в Стенфордском университете проходила международная конференция, посвященная исследованиям структуры нуклонов с помощью частиц высоких энергий. Организатором конференции являлся известный американский физик, лауреат Нобелевской премии Роберт Ховштадтер. Я хорошо помню, это было утром 4 ноября 1957 года. Мы только что вошли в здание университета, и тотчас же нас обступила группа американских физиков. Они сообщили, что вчера в нашей стране запущен большой искусственный спутник Земли, и наперебой спрашивали: правда ли? Что вы об этом знаете? Мы не слышали радио и, естественно, ничего не знали, но сказали, что, если об этом сообщил ТАСС, то это значит именно так, и нам приятно слышать о таком выдающемся достижении науки и техники нашего государства.

Американцы были потрясены этим событием, обескуражены и одновременно на их лицах можно было заметить выражение большой обеспокоенности. Началось заседание конференции, и все отвлеклись от этого события. Однако в перерыве проф. Ховштадтер сказал нам, что сегодня вечером он очень хотел бы видеть всю нашу делегацию у себя дома. Когда в назначенный час мы пришли к Ховштадтеру, там было полно людей, большая часть из них - американские физики с женами. Нас начали поздравлять, а потом поочередно, всем сразу и каждому в отдельности, наперебой задавать вопросы: "Что теперь будет? Советский Союз привезет на спутнике атомную бомбу и бросит ее на Америку? Ведь на то,

чтобы достичь Америки, потребуется всего лишь 30 минут! У нас в Америке нет ничего подобного и мы беззащитны. Ваша страна теперь может сделать все, что хочет, с американцами" и т.д.

В самый разгар этих разговоров попросил слово Дмитрий Иванович. Все затихло и наполнилось вниманием. Он говорил немного, но, как всегда, ярко:

— Дорогие коллеги! Событие, которым мы все здесь взволнованы, действительно, имеет выдающееся значение. Оно войдет в историю и сохранится в памяти народов Земли как высочайшее достижение человеческого разума. Все мы испытываем чувство гордости за нашу страну. Но, господа, полет Спутника, который всего за 90 минут облетел земной шар, продемонстрировал нам всем, насколько мал шарик, на котором мы живем. Как близко мы живем друг от друга, всего в 30 минутах пути. Но я хочу вас заверить, и вся наша делегация твердо убеждена в том, что правительство нашей страны никогда не использует это огромное достижение для целей военного нападения на какую-либо страну или народ. Весь народ нашей страны был глубоко потрясен и возмущен, когда по распоряжению президента Трумена были сброшены атомные бомбы на Хиросиму и Нагасаки и когда были погублены в течение нескольких мгновений сотни тысяч людей и в пепел были обращены эти города. Наше правительство никогда не встанет на путь шантажа и угроз, на который тотчас после взрыва первой атомной бомбы в Лос-Аламосе встало правительство Трумена. Вы сможете в этом убедиться. Но я хочу обратить ваше внимание на то, что в сложившейся ситуации необходимо нацело отвергнуть политику противостояния, политику гонки вооружений, прислушаться к голосу разума, и от политики вооружений и конфронтаций перейти к политике мирного сосуществования, к политике широкого научно-технического сотрудничества в области использования ядерной энергии в мирных целях. И мы, ученые, в первую голову должны приложить максимум усилий к этому." Последние слова Дмитрия Ивановича вызвали бурные аплодисменты. Они сняли напряжение. Страсти остыли. Американцы поблагодарили Дмитрия Ивановича за его страстную речь, и вечер прошел под знаком триумфа советской науки и техники.

К этим своим мыслям Дмитрий Иванович в последующем возвращался неоднократно, и в частности, в сентябре 1960 года на Рочестерской конференции там же в США, выступая при закрытии конференции, он сказал:

— "Сейчас, когда конференция подходит к концу, мы сознаем, что узнали много новых вещей, и что эта конференция — новый шаг в нашем проникновении в загадочный мир элементарных частиц. Мы надеемся и в будущем иметь еще много подобных встреч, которые помогут нам открыть и понять новые вещи и идеи. Но эти встречи имеют и другую сторону.

Здесь я прочел в газетах, что "физики игнорируют напряженность в мире". Я думаю, что другого отношения трудно было бы ожидать. Это объясняется тем, что наша планета становится все меньше и меньше. В 1957 году нам потребовалось около 20 часов, чтобы долететь до восточного континента. Сейчас потребовалась только половина этого времени. И я думал в самолете, что все мы, люди планеты, — не что иное, как пассажиры большого космического корабля, летящего в темном и мрачном пространстве. Глупо и безрассудно ссориться в этой ситуации. Я могу вас уверить, что наш народ, строящий новое общество, верит в необходимость и возможность не только сосуществования, но и настоящей дружбы между нашими народами. Мы теперь понимаем остроту демографических и экологических проблем, общих для всех людей — обитателей небольшой голубой планеты".

В заключение, для полноты характеристики Дмитрия Ивановича, я хотел бы отметить еще ряд его замечательных качеств. Он был очень остроумным человеком, большим интернационалистом и недюжинным дипломатом. Один только штрих к его остроумию и находчивости. После доклада Дмитрия Ивановича о первой АЭС на Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии в августе 1955 года один из американских корреспондентов спросил его (цитирую по упоминавшейся мною ранее книге Дмитрия Ивановича): "У нас утверждают, что реактор вашей АЭС похож на реактор нашей подводной лодки "Наутилус". Случайно ли это?" На что Дмитрий Иванович ответил: "Конечно, нам было бы крайне интересно знать, как устроен реактор лодки "Наутилус". Если Ваше заявление авторитетно, то Вы сообщаете мне крайне ценные сведения (хохот среди журналистов). Впрочем, где бы ни стали делать лошадь, в общих чертах она будет похожа на другую. Законы природы одинаковы для всех стран, наций и политических систем".

Внутренний дар Дмитрия Ивановича находить правильные подходы к решению проблем международного научного сотрудничества и его дипломатические способности заметил в нем зоркий глаз И.В.Курчатова, обладавшего удивительным умением видеть в людях подчас еще не открывшуюся способность выполнить то или иное крупное и высоко ответственное дело. Это Игорь Васильевич рекомендовал назначить Дмитрия Ивановича первым директором нашего Международного ядерного центра в Дубне — Объединенного института ядерных исследований. Все мы, работавшие с Дмитрием Ивановичем и в период, когда он был директором Института, и позднее, когда руководил работой Лаборатории теоретической физики Института, с большой теплотой вспоминаем эти годы.

Его уход из жизни является большой утратой для Дубны и для советской науки. Его основополагающие труды обогатили нашу и мировую науку и его имя всегда будет жить среди людей.



На конференции в Женеве 1959 г. Слева направо:
на первом плане - В.П.Джелепов, Н.Н.Боголюбов, Д.И.Блохинцев;
на втором плане - Д.В.Волков, Л.И.Лапидус.



Нильс Бор в ОИЯИ (1962 г.).



Д.И.Блохинцев и Э.М.Мак-Миллан.



Рождение идеи (А.Пайс, Г.В.Ефимов, Д.И.Блохинцев).

Д.И.Блохинцев
и Абдус Салам.



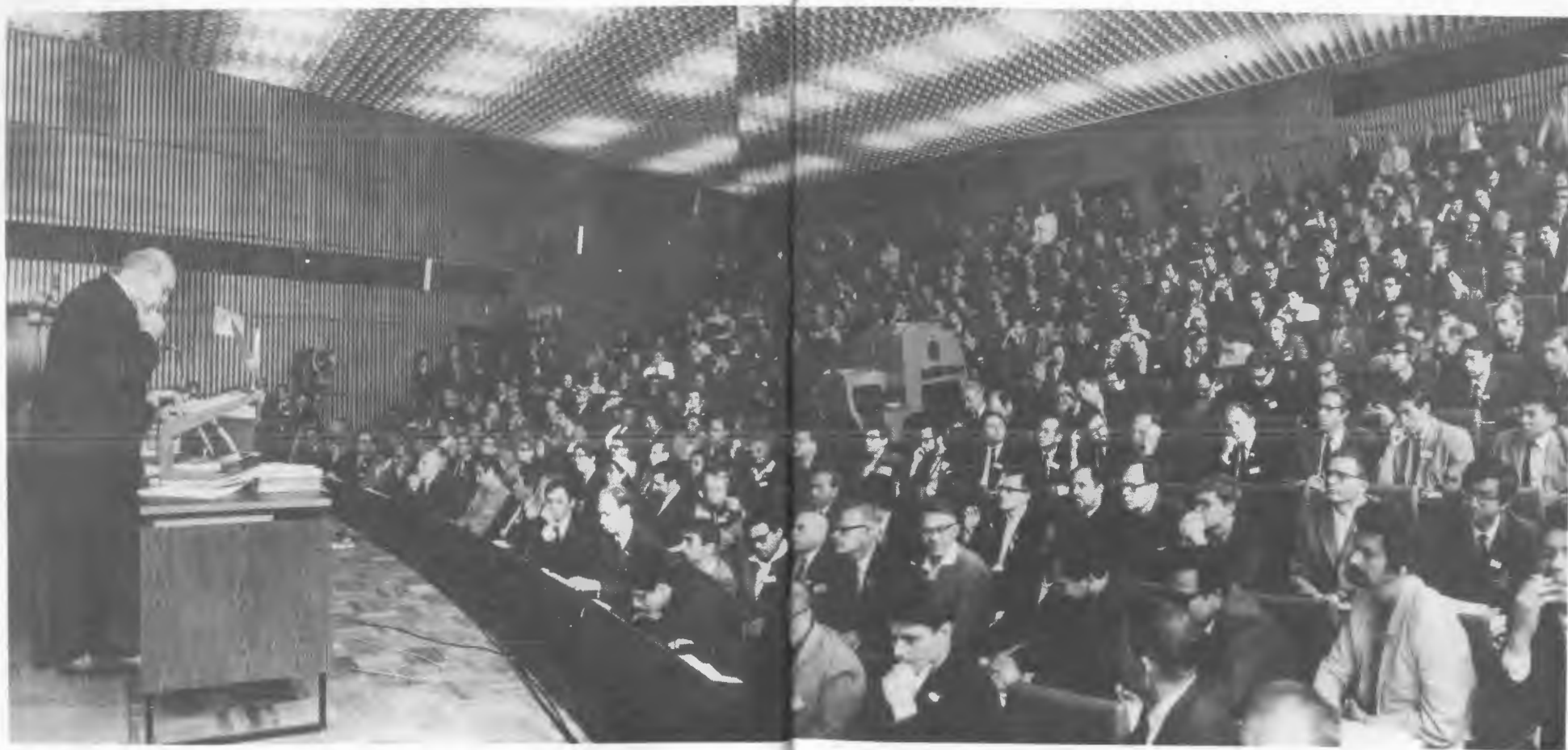
38



39



Д.И.Блохинцев и Б.Грегори.



Выступление на VIII международной конференции
по физике высоких энергий в Киеве, 1970 г.



Дискуссии с Б.М.Понтекорво (снимок вверху),
и с А.И.Алиханяном (внизу).

ТРИДЦАТЬ ЛЕТ НАЗАД

В.С.БАРАШЕНКОВ – профессор, руководитель сектора ЛВТА ОИЯИ

Д.И.Блохинцев был человеком необычайно широких интересов. При этом некоторые из его "нефизических увлечений" заходили так глубоко, что он становился одним из признанных авторитетов в соответствующей области. Одним из таких многолетних увлечений Дмитрия Ивановича были его занятия философией. В 50-е гг. после известных коллизий с кибернетикой и генетической биологией в среде физиков, особенно среди молодежи, было распространено скептическое отношение к философии. Многим, в том числе и мне, тогда казалось, что философия, канонизируя полученные естествознанием результаты, превращает их в освященные авторитетами догмы, и тем самым возводит барьеры на пути науки. Д.И.Блохинцев был в то время одним из немногих известных физиков, которые продолжали печататься в философских сборниках и журналах.

Однажды я спросил его, зачем он тратит время на "эту философию, которая цементом заливает мысль и мешая свободно думать". Мы шли поздним вечером по аллее Морозовского парка в Обнинске. Вокруг стояли высокие сосны, было темно, и лишь далеко впереди на ветру раскачивался яркий фонарь. Дмитрий Иванович на мгновение задумался, а потом показал рукой на этот фонарь:

- Вон - фонарь. Если Вы будете смотреть только на него, он Вас ослепит, и Вы скоро начнете спотыкаться о пни и колоды. Так что же, и фонарей не зажигать? Философия - это тот же фонарь в науке. Вот как ни крутим мы коммутаторы координат и времени, а бесконечности у нас все равно остается (мы в то время занимались нелокальными полями). Знаете, сколько ни говори слово "халва", во рту слаще не будет. Может, дело в том, что пространство и время микрочастицы - это совсем не то, к чему мы привыкли? А это уже - философия, и еще какая! Вы когда-либо задумывались о том, что главное, основное в пространстве и времени? Может быть, вот тут-то лягушка как раз и прыгает в воду?

Этот ответ меня настолько поразил, что потом дома я записал его почти дословно и позднее не раз вспоминал.

Оказалось, что Дмитрий Иванович также не забыл ночного разговора о смысле философии, и вернулся к нему десять лет спустя, уже в Дубне. В то время я занимался дисперсионными расчетами по проверке при-

чинности в связи с опытами по пион-нуклонному рассеянию, которые проводили в ЛВЭ В.А.Свиридов с сотрудниками, а в США, в Брукхейвенской лаборатории, группа Линденбаума. Результаты расчетов хорошо согласовывались с данными дубненских физиков и качественно (несовпадала не только величина, но и ее знак) противоречили измерениям, выполненным в Брукхейвене. Позднее выяснилось, что эти измерения содержали методические погрешности, но в то время факт противоречия дисперсионной теории выглядел как указание на нарушение причинности в микроскопических интервалах пространства-времени. Незадолго до этого Н.Н.Боголюбовым было показано, что требование причинности — одно из основных условий, лежащих в фундаменте вывода дисперсионных соотношений, поэтому расхождение расчета и эксперимента выходило далеко за рамки чисто физического результата. Вставал вопрос о поисках каких-то более общих формулировок причинности, чем те, которые нам известны, и вообще — о законности применения пространственно-временного языка для описания микроявлений.

Однажды поздним вечером, после одного из затянувшихся обсуждений в ЛТФ, я провожал Дмитрия Ивановича домой. Было темно и лишь далеко впереди мерцали фонари.

—Помните разговор о философии и фонарях в Морозовском парке? Почему бы Вам не написать короткую статью в "Вопросы философии" о причинности с точки зрения физика? Ведь некоторые считают ее совершенно неизменной, "богом данной", а смотрите, как дело-то поворачивается! Мы слишком мало размышляем об общих проблемах и часто пытаемся ломиком копать в часовом механизме.

Через пару дней я показал Дмитрию Ивановичу текст статьи. Это была моя первая статья по философии.

О ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ Д.И. БЛОХИНЦЕВА
в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова

Профессор И.М.Тернов — проректор МГУ

С Московским университетом Дмитрий Иванович Блохинцев был связан с 1926 года, когда он поступил на физический факультет МГУ. Наибольшее влияние на него в студенческие годы, как он сам говорил, оказали Л.И. Мандельштам, С.И. Вавилов, Н.И. Лузин, Д.Ф. Егоров, под влиянием которых он стал специализироваться по теоретической физике. По окончании университета он был оставлен в аспирантуре. Годы учебы в МГУ и время пребывания в аспирантуре совпали с периодом возникновения квантовой механики и ее широкого и успешного применения при анализе многих загадочных физических явлений, происходящих в атомах вещества.

Наряду с активной научной работой в этот период Д.И. Блохинцев начинает читать с 1933 года (после окончания аспирантуры) несколько теоретических курсов и, в частности, курс квантовой механики.

В дальнейшем на основе лекций им был написан первый в мире систематический университетский учебник "Основы квантовой механики" (1944 г.), переиздававшийся, с изменениями и дополнениями, и выдержавший двадцать два издания на девяти языках. За него Д.И. Блохинцеву присуждена Государственная премия СССР.

В 1934 году Д.И. Блохинцев защищает докторскую (сразу, как заключение) диссертацию, и в 1935 году становится профессором МГУ. С тех пор в этой должности он непрерывно работает на физическом факультете МГУ, заведующим кафедрой теоретической ядерной физики.

В 1961 году, будучи директором Объединенного института ядерных исследований, Д.И. Блохинцев стал инициатором и организатором филиала НИИЯФ МГУ в Дубне, на базе ОИЯИ, где студенты и аспиранты, тео-

ретики и экспериментаторы, специализирующиеся по физике атомного ядра и элементарных частиц, могли бы учиться непосредственно в атмосфере научного поиска, активно участвовать в формулировке и разработке новых направлений в теоретической и экспериментальной физике. На этой плодотворной основе филиал НИИЯФ МГУ существует уже более двадцати лет.

Можно с уверенностью сказать, что пример организации учебного процесса на базе крупнейшего международного Объединенного института ядерных исследований в Дубне явился чрезвычайно важным для развития университетского образования. Следует заметить, что Московский университет никогда бы сам не смог создать подобную научно-исследовательскую базу.

Начиная с 8 семестра, студенты кафедры обучаются в Дубне и слушают ряд курсов по современным вопросам физики. Им читали лекции профессора Д.И. Блохинцев, Б.М. Понтекорво, М.Г. Мещеряков, В.Г. Соловьев, В.В. Балашов, Б.М. Барбашов, доктора физ.-мат. наук С.М. Биленький, Н.М. Плакида, Ю.Ф. Смирнов, В.Б. Беляев, Б.Н. Захарьев, Г.В. Ефимов, доцент С.П. Иванова.

В частности, Д.И. Блохинцев читал курс "Дополнительные главы квантовой механики", на основе которого появилась его монография "Принципиальные вопросы квантовой механики" (1966 г.), переведенная на английский и французский, японский и др. языки.

Со студентами кафедры теоретической ядерной физики ведутся активные занятия по специальности "Прикладная математика" на базе Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, обладающей уникальным вычислительным комплексом, обширными библиотеками стандартных программ.

Поэтому учебный план кафедры с самого начала предусматривал обучение студентов по двум специальностям - "Ядерная физика" - кафедра Д.И. Блохинцева и "Прикладная математика".

Базой кафедры являлась Лаборатория теоретической физики ОИЯИ. Тем самым научная работа студентов и аспирантов кафедры Д.И. Блохинцева была неразрывно связана с научно-тематическими планами Лаборатории теоретической физики, крупнейшей в мире, и определялась ими.

С 8 семестра каждый студент имеет научного руководителя, так что достигается индивидуальное обучение студентов.

В силу того, что студент попадает в активно работающую научную группу, тема его производственной практики, дипломной работы состав-

ляет часть одной из тем, утвержденных планом работы Лаборатории теоретической физики. Поэтому, как правило, дипломная работа публикуется.

На кафедре Д.И. Блохинцева ежегодно обучалось примерно 15 студентов и 5-6 аспирантов. Важной особенностью в работе этой кафедры было то, что на ней обучались в форме прикомандированных к филиалу НИИЯФ МГУ многие студенты более чем из тридцати университетов стран (Кишиневского, Саратовского, Дальневосточного, Башкирского, Азербайджанского, Гомельского, Тбилисского, Ереванского и др.) - по 5-10 человек в год.

Все они имели такие же прекрасные возможности проходить обучение в коллективе Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, как и студенты МГУ. Это была очень эффективная и в своем роде уникальная форма помощи периферийным вузам.

В целом, как мы видим, опыт кафедры ядерной физики под руководством Д.И. Блохинцева содержал целый ряд ярких новаторских моментов.

Вернемся к учебнику Д.И. Блохинцева "Основы квантовой механики". Причины отмеченного выше широкого признания этой книги-курса лежат в том, что развернутый университетский учебник Д.И. Блохинцева с необходимой полнотой освещает как принципиальные вопросы квантовой механики, так и важнейшие физические приложения, написан столь ясным языком как с физической, так и с математической точек зрения, что он оказался доступным широким студенческим кругам инженерно-физических, химических, педагогических и других учебных заведений как раз в ту эпоху, когда происходило бурное освоение атомной энергии, и квантовая механика очень быстро становилась инженерной наукой.

Д.И. Блохинцев постоянно обновлял материал учебника, добавив, в частности, в 5-е издание (1965 г.) материалы о континуальном интегрировании по траекториям Фейнмана, о полюсах амплитуды рассеяния, аналитически продолженной в комплексную плоскость переменной углового момента (полюса Редже) и т.д.

Важной оригинальной чертой учебника Д.И. Блохинцева явилось большое внимание, которое там уделено методологическим вопросам. Д.И. Блохинцев писал в предисловии к пятому изданию (1976 г.): "Я всегда придавал большое значение правильной методологии, без владения которой даже самый отличный ум приобретает оттенок ремесленничества". Поэтому материалистическая методология где явно, где менее явно, пронизывает всю книгу.

Д.И. Блохинцев - автор концепции квантовых статистических ансамблей, которую он изложил в своем учебнике. Его подход, обладая боль-

шой эвристической силой, помогает устранить ряд внутренних противоречий в интерпретации квантовой механики и установить тесную связь между квантовой механикой и статистической физикой. Эта концепция "московской школы", в отличие от более популярной концепции "копенгагенской школы", отводит более скромную роль наблюдателю, и повсюду подчеркивает объективный характер квантовых ансамблей и управляющих ими закономерностей.

Особенно подробно эти вопросы обсуждаются в монографии Д.И. Блохинцева "Принципиальные вопросы квантовой механики" (1966 г.) и в книге "Квантовая механика" (лекции по избранным вопросам, 1981 г.). В этих работах Д.И. Блохинцеву удалось прояснить важные вопросы теории измерений, бывшие неясными у Н. Бора.

Первостепенную роль здесь играет статистический оператор (матрица плотности), описывающий состояние микросистемы в квантовом ансамбле общего типа, состоящем из повторения макроскопической обстановки M и находящейся в ней микросистемы μ . Д.И. Блохинцев впервые отметил, что включение в рассмотрение квантово-механическими методами макроскопического прибора требует описания всей ситуации методом матрицы плотности ρ_{μ} , т.е. методами теории открытых систем.

Д.И. Блохинцевым сделан вывод о том, что макроскопическая система B будет служить измерительным прибором для определения величины L , присущей макрочастице M , если с течением времени t исчезнут интерференционные члены в статистическом операторе:

$$\rho(x, Q | x'; Q'; t) = \sum_{nm} R_{nm}(Q|Q'; t) \psi_n(x) \psi_m^*(x),$$

где Q - координаты системы B .

(Формула (II.13) в книге "Квантовая механика. Лекции по избранным вопросам", 1981 г.).

Указанный важный общий вывод иллюстрируется некоторыми конкретными примерами. В таком изложении отпадают парадоксы, связанные со скачкообразным изменением волновой функции микрообъекта μ в результате измерения, например, стягивание волнового пакета

$$\psi_{\mu}(x) = \sum_n C_n \psi_n(x) \rightarrow \psi_n(x),$$

если измерено $L = L_n$.

Д.И. Блохинцев с удовлетворением писал по этому поводу в предисловии к "Квантовой механике. Лекции по избранным вопросам", 1981 г. :

"Я надеюсь, что в этих лекциях мне удалось заполнить все пробелы в этом "московском" понимании квантовой механики, дополнив ее теорией измерений".

Л и т е р а т у р а

1. А.Г. Самойлович. Рецензия на книгу Д.И. Блохинцева "Введение в квантовую механику", М., Гостехиздат, 1944.
2. Б.М. Барбашов. "Д.И. Блохинцев. (К 60-летию со дня рождения)". Библиографический очерк. УФН, т. 94, стр. 186-187, 1968.
3. Н.Н. Боголюбов, Б.Б. Кадомцев, А.А. Логунов, М.А. Марков. "Д.И. Блохинцев (к 70-летию со дня рождения)". Библиографический очерк, УФН, т. 124, стр. 193-196, 1978.
4. Д.В. Ширков. Новое издание популярного учебника. (Рецензия на учебник Д.И. Блохинцева "Основы квантовой механики", М., "Наука", 1976 - пятое издание), УФН, т. 124, стр. 197-198, 1978.
5. Памяти Д.И. Блохинцева. Н.Н. Боголюбов и др. УФН, т. 130, № 1, 1980.



МЫСЛИТЕЛЬ И ПОЭТ

Е.П. Шабалин – кандидат физико-математических наук, руководитель сектора ЛНФ ОИЯИ

Все, кто более или менее знал Дмитрия Ивановича Блохинцева, наслышаны о широте его интересов. Он был автором не только многократно издававшихся учебников по квантовой механике, работ и изобретений в технике ядерных реакторов, философских статей, но и автором ряда книг по различным областям технической и прикладной физики.

С многогранностью интересов Дмитрия Ивановича связан забавный эпизод, происшедший в Японии в 1976 году, где мне посчастливилось быть вместе с ним. За Дмитрием Ивановичем буквально по пятам все время ходил один участник симпозиума – немолодой японский ученый. Мы чувствовали, что он что-то хочет спросить, но, видимо, стесняется. Наконец, он подошел ко мне и задал такой вопрос: "Простите, пожалуйста, не есть ли доктор Блохинцев родственник Блохинцева – автора учебника по квантовой механике?" Узнав, что это один и тот же человек, японец был очень обрадован и изумлен. Изумлен потому, что на симпозиуме Блохинцев выступал как специалист по физике и технике импульсных реакторов, а обрадован потому, что получил возможность пообщаться с человеком, по книге которого несколько десятилетий учит студенты. Однако потрясению японского физика не было предела, когда из дальнейшего разговора он узнал, что автор монографии по акустике – все тот же Блохинцев.

В образе мышления Дмитрия Ивановича гармонично сочетались мыслитель и поэт. Часто приходилось слышать от него поэтическую образную интерпретацию физического явления или устройства. В качестве примера можно привести его статью "Импульсный быстрый", в которой Дмитрий Иванович рассказал о пуске первого в мире импульсного реактора ИБР в 1960 году, автором идеи и инициатором создания которого он являлся.

В оценке общечеловеческих проблем и отношений Дмитрий Иванович был не менее глубок и поэтичен. В том же 1960 году, выступая уже как физик-теоретик на научной конференции в США, Блохинцев сравнил Землю и ее жителей с большим космическим кораблем. И это уже было не только блестящим сравнением, но и программой действий, программой мира.

ВСПОМИНАЯ УЧИТЕЛЯ

Г.В. Ефимов, — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник ЛТФ ОИЯИ

После окончания МИФИ в 1958 году меня направили по распределению в ЛТФ ОИЯИ. С первых же научных семинаров меня поразило исключительно образное мышление Д.И. Блохинцева. Всякий процесс с элементарными частицами он всегда рассматривал во времени и пространстве. Для меня это было особенно удивительно потому, что в те времена (вторая половина 50 годов) существовало убеждение, что элементарные частицы должны быть точечными.

Однако для Дмитрия Ивановича элементарная частица представлялась как распределение в пространстве вещества с зарядом и током. И что удивительно: те расчеты, которые он делал на основе таких представлений, приводили к тем же ответам, что и в квантовой теории. Эта образность мышления, способность представить, как протекают в пространстве процессы взаимодействия элементарных частиц, вели Блохинцева к убеждению, что трудности квантовой теории поля, связанные с представлением о точности взаимодействия, являются следствием именно этого идеализированного предположения.

По убеждению Блохинцева, физические частицы не могут быть точечными — всякое их взаимодействие должно протекать в некотором объеме. Эта физическая картина и привела его к идее нелокальной квантовой теории поля как к естественному обобщению существовавших тогда квантово-полевых представлений. Эта точка зрения нашла отражение в книге Д.И. Блохинцева "Пространство и время в микромире".

Несмотря на то, что в 60-е годы идеи нелокальности в квантовой теории поля не были популярными, Дмитрий Иванович, начиная с 1967 года, проводил через каждые три года международные совещания по этой тематике. Это по существу были совещания по фундаментальным проблемам квантовой теории поля, где обсуждались различного рода "сумасшедшие идеи", многие из которых в дальнейшем были с успехом разработаны советскими учеными.

СЛОВО ОБ УЧЕНОМ

В.Г. Соловьев — профессор, заместитель директора ЛТФ ОИЯИ

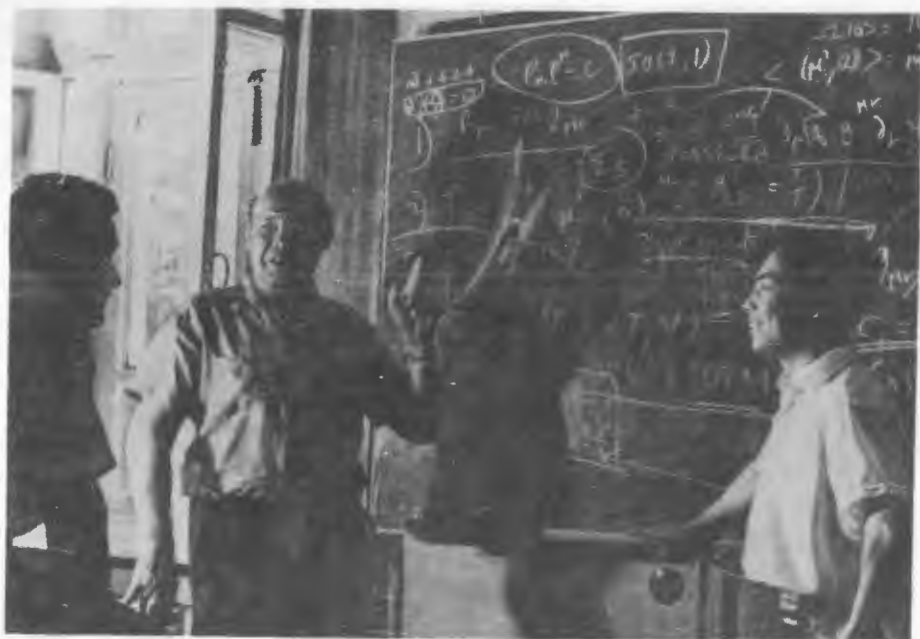
С Дмитрием Ивановичем Блохинцевым я был постоянно связан в течение последних 23 лет его жизни. Запомнилась первая встреча. Весной 1956 года Дмитрий Иванович собрал у себя теоретиков, работавших в Институте ядерных проблем АН СССР и в Электрофизической лаборатории АН СССР. Он расспросил о нашей научной работе, о полученных результатах и планах. Рассказал нам об организации ОИЯИ и поделился соображениями о создании двух новых лабораторий — ЛТФ и ЛНФ. Рассказывая, он как бы советовался с нами, молодыми физиками. Такой стиль общения был характерен для него и необычен для нас. Его знания, энтузиазм и демократичность произвели на нас большое впечатление.

Хочется напомнить, что организационная структура ОИЯИ, его управление, лаборатории в значительной степени были разработаны самим Дмитрием Ивановичем. Из ИЯП была выделена Лаборатория ядерных реакций. Были созданы Лаборатория теоретической физики и Лаборатория нейтронной физики, на должности директоров которых он пригласил Н.Н. Боголюбова и И.М. Франка. Развернулось строительство. Особенно большое внимание Дмитрий Иванович уделял скорейшему сооружению корпуса ЛТФ с конференц-залом и общеинститутской библиотекой.

Расскажу об одном эпизоде. В декабре 1956 года привезли из Ленинграда проект здания ЛТФ. Этот проект понравился многим, в том числе административному директору Института В.Н. Сергиенко. Николай Николаевич Боголюбов в это время был в заграничной командировке. Дмитрий Иванович попросил меня посмотреть проект. Я ознакомился с ним и обратил внимание Дмитрия Ивановича на то, что комнаты в 30 м² не подходят теоретикам. Он согласился, что если в комнате больше двух-трех человек, то работа у теоретиков идет плохо. Но проект был готов, и корпус нужен был как можно быстрее. В течение дня мы несколько раз обсуждали этот проект. На другой день утром Дмитрий Иванович принял решение — переделать проект здания ЛТФ, и сам нарисовал контуры нового корпуса. В новое здание ЛТФ мы въехали в апреле 1959 года.

Мне представляется, что за время работы в ОИЯИ Дмитрий Иванович наибольшее внимание уделял ЛТФ и ИБР-1, потом ИБР-2. При решении возникавших в ЛТФ вопросов он всегда исходил из интересов дела. Обычно А.Н. Тавхелидзе и я (его заместители) приходили к Дмитрию Ивановичу, излагали ситуацию и вносили предложения. Решения выносились быстро, как правило, одобрительные, но оставались мы в кабинете у Дмитрия Ивановича долго. Он рассказывал нам, какой научной задачей он занят или что его заинтересовало. Обсуждались пути решения задачи. Потом разговор переходил на другие научные вопросы, на развитие физики, на вопросы международной и внутренней политики или искусства. Беседа с Дмитрием Ивановичем всегда доставляла большое наслаждение, и уйти от него было трудно. Дмитрий Иванович был хорошим рассказчиком, он говорил образно и очень интересно. Я помню, как в 1961 году он первый раз был у нас дома и своими рассказами заворожил моих родных и друзей. Потом я много раз был свидетелем того, с каким большим интересом его слушали в самых различных аудиториях.

В течение многих лет совместно с Дмитрием Ивановичем пришлось решать много вопросов как очень простых и легких, так и довольно больших и сложных. Не так уж редко я не соглашался с Дмитрием Ивановичем, но за все 23 года совместной работы я не слышал от него в свой адрес ни одного грубого слова или упрека, не помню ни одного случая раздраженного тона или повышенного голоса. А ведь это, ой, как не просто!



В новой Лаборатории теоретической физики:
Ж.Вижье (Франция), Д.И.Блохинцев, Нгуен Ван Хьеу (СРВ)



Поздравления с успешной защитой вьетнамского теоретика
Дао Вонг Дыка.



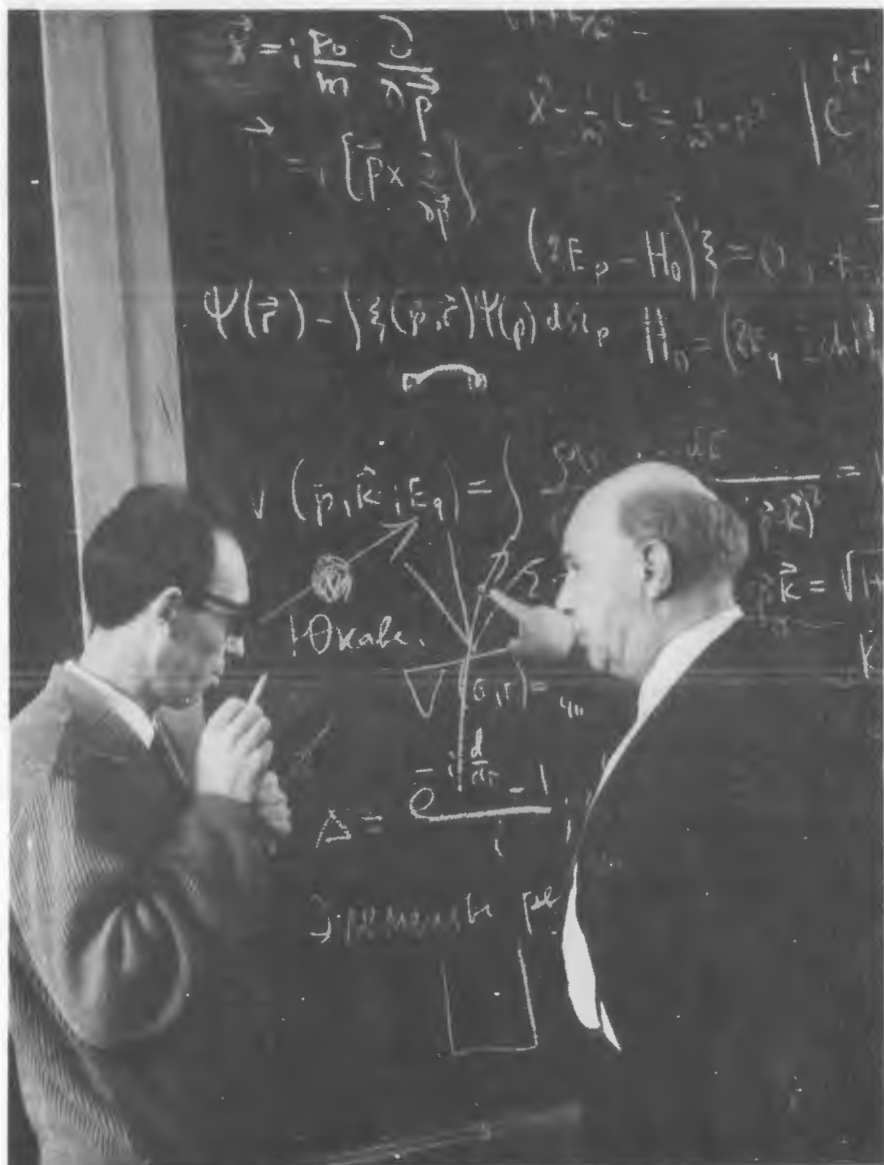
Д.И.Блохинцев и В.А.Мещеряков.



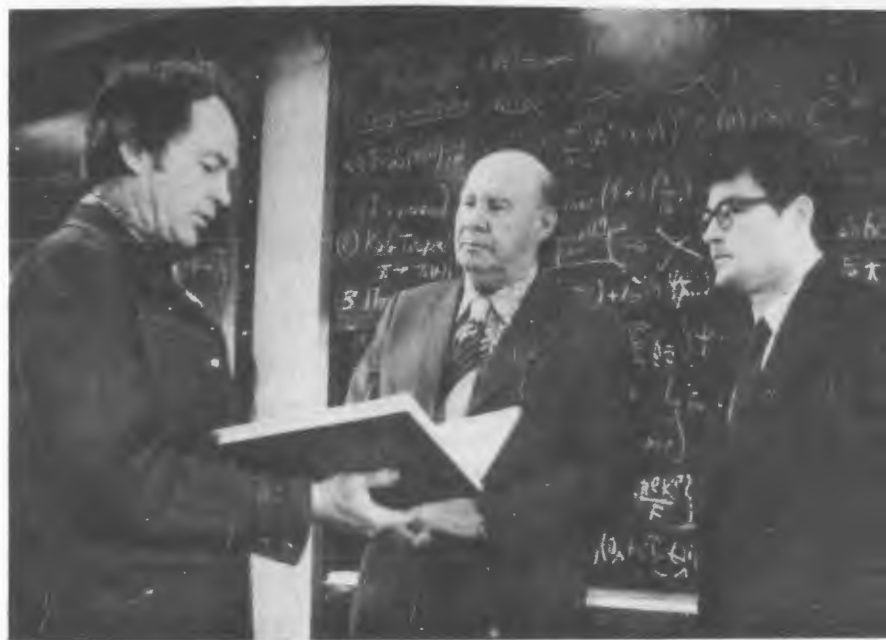
Д.И.Блохинцев и М.Д.Миллиончиков.



Д.И.Блохинцев и Я.А.Смородинский.



Обсуждение теоретических проблем, (слева: А.В.Ефремов и Д.И.Блохинцев, справа сверху - Д.И.Блохинцев и Р.А.Асанов, внизу - Г.В.Ефимов, Д.И.Блохинцев и В.Н.Первушин).





На родине К.Э.Циолковского.

Эти воспоминания Д.И.Блохинцева, подготовленные к публикации его вдовой Н.А.Коненковой, раскрывают малоизвестные страницы развития отечественной ракетной техники и космической философии.

Переписка 17-летнего Д.И.Блохинцева с известным 68-летним ученым К.Э.Циолковским может послужить современным молодым исследователям примером подлинной устремленности к творческой деятельности. Большой интерес представляет также история появления исполненного высокого нравственного смысла образа "космического корабля Земля", получившего всемирное распространение после описанного здесь выступления Блохинцева в США.

С В Е Т И З К А Л У Г И ^{*}

Д.И.Блохинцев

Самым отрадным в жизни является то, что в потоке людей есть возможность встретиться с личностями исключительными; людьми, которые, выражаясь языком физики, флюоресцируют своим ярким, теплым светом. И еще более отрадно работать среди таких людей, иметь среди них друзей и чувствовать, как говорят в армии, их плечо.

В этом отношении мне или везло, или была очень сильной моя тяга к таким людям, но я не был обижен их обществом. Жизнь оказавших на меня влияние людей, с которыми мне приходилось работать и дружить, — настоящая поэма. Было бы просто недостойно ограничиться перечислением этих людей. А рассказать здесь о каждом просто нет возможности. Поэтому я решил рассказать только об одном человеке, соприкосновение с которым было для моей судьбы определяющим: о Константине Эдуардовиче Циолковском и который, как сказали бы теперь, вывел меня на орбиту. А началось все с того, что я услышал ЗОВ АЭЛИТЫ.

^{*} Техника — молодежи, 1983, № 4, с.14-17.

Неясные сигналы с Марса: "Анта-Адели-Ута ..." 2 февраля 1925 года я записал в дневнике: "С тех пор, как видел "Аэлиту", мне точно огнем выжгло в подсознании этот мощный полет, и я ударился в ракеты. ... Хожу на лекции, изучаю механику и высшую математику ... Работай, работай!" Передо мной вырезка из журнала того времени. Прекрасная Аэлита (Юлия Солнцева) с телескопом в руке. На заднем плане марсианский дворец, фигуры марсиан ... Дворец такой "модернистский", как будто построен недавно в Лос-Анджелесе. Видимо, наши архитекторы когда-то позднее сильно собились с пути, если в 1950-е годы строили здания атомных "объектов" на манер дворянских усадеб.

Образы марсиан, Аэлиты, как олицетворение сверхчуждственного, не отстают от меня ... Мне грезится будущий человек без страстей, без ненависти, без любви. Его сила в знании. В знании, проникающем все дальше и дальше в глубины Вселенной. "Он властелин, он полубог".

Однако дело не ограничивалось восхищением романтическим миром Марса. Ради прекрасного я одолевая высшую математику и механику. Строил модели ракет. Изобрел маятник, по отклонению которого судил о реактивной силе ракеты, о качестве сопла и заряда. Одна из моделей не оправдала предположений, она взорвалась со страшной силой; мы, трое "испытателей", стояли, окутанные синею дымом. Тяжелый маятник перелетел в другой двор (больницы Склифосовского). На земле, в садике валялись обрывки ракеты ... К счастью, все опасные детали пролетели мимо нас. Отовсюду из окон повисовывались испуганные жители ... В этот час хоронили Воровского. Наш взрыв был принят за почетный салют, и это успокоило.

Вот протокол испытания одной из моделей.

"5 апреля 1925 года. I-я Гражданская (Мещанская), д.8.

ИСПЫТАНИЕ НА РЕАКЦИЮ

Ракета та же. № 3.

Вес 78 г.

Вес балласта 20,5 г.

Вес маятника - 447,6 г.

Вес оси - 38,0 г.

Итого - 524,7 г.

Результат: по невыясненной причине ракету разорвало. К тому же вес маятника был явно недостаточным ... На шкале отчеркнуто - 25, затем резкие поперечные черты ... Взрыв ...

Выводы:

1) Сделать маятник весом не меньше 1,5 кг.

2) Подшипники сделать замкнутые.

3) Обратит внимание на разрыв и предупреждение его.

4) Осторожней при поджигании ... "

Я обратился к Циолковскому, достал книги Г.Оберта, В.Валье и Р.Годдарда. К счастью, в то время для выписки зарубежных книг не требовалось иметь ученое звание. Препятствием для меня была лишь необходимость платить за эти книги: тогда я работал в подвалах "Азвин" и доходы мои были крайне скудны.

Пришлось одолеть и основы дифференциального и интегрального исчисления. Я овладел теорией ракет, рассчитывал их скорости и орбиты. Меня угнетала недостаточность температуры, развиваемой при сгорании даже самых экзотических топлив. В рабочей тетради 23 июля 1925 года записано: "Самый основной вопрос, который остается для меня (вероятно, и для других) открытым, - это вопрос о взрывчатом веществе". И тут я обращаюсь к внутриатомной энергии (ядерной), делая примечание: "Но ведь мы еще не научились управлять ею!"

Моя первая теоретическая работа "Ракета" содержит много вычислений. Как же повлиять на радиоактивный распад? Позднее я работал над применением внутриядерной энергии, подсчитывал завидную энергию α -частиц, рассчитывал применение потока заряженного газа, ускоряемого электрическим полем.

В этот период я посещал читальню БИИТ (Бюро иностранной науки и техники, на Мещанской ул.), слушал лекции профессоров Ветчинкина, Рынина и др. Ходил в Петровский дворец на подготовительные курсы для поступления в военно-воздушную академию.

Мне удалось познакомиться с данными Резерфорда о расщеплении ядра атома. Из газетных сообщений я узнал о намерениях Капицы расщепить атом сильными магнитными полями.

Эти новые и поразительные данные заставили меня переориентироваться, и в 1926 году, осенью, я поступил не в военно-воздушную академию, а на физический факультет Московского государственного университета.

Физика, и особенно теоретическая физика, настолько увлекла меня сама по себе, что я надолго забыл свои мечты о космических полетах на Луну и Марс. Однако много лет спустя, после войны, я вновь вернулся к "Аэлите", на этот раз вооруженный много большими знаниями и совершенно новыми возможностями. Но тогда до этого было далеко.

ПЕРЕПИСКА С ЦИОЛКОВСКИМ

Вот мое первое письмо в Калугу.

"Многоуважаемый К.Э.Циолковский! Интересуюсь вопросами межпланетных полетов и желаю быть в будущем чем-нибудь полезным в этой об-

ласти, прошу Вас не отказать мне в просьбе дать указание, где я могу найти Ваши, на первое время, хотя бы самые элементарные работы, так как здесь, в Москве, я ничего не смог найти. Очень извиняюсь за доставленное Вам беспокойство. Уважающий Вас Блохинцев Дмитрий,
15 мая 1925 г. "

Непредвиденно для меня Константин Эдуардович ответил буквально на следующий день:

"16 мая 1925 г. Могу выслать Вам несколько книг наложенным платежом на три рубля, а пока посылаю Вам бесплатно "Монизм Вселенной". Эту книгу я не продаю, так как ценность ее беспредельна и нелегко брать гривенник за бесконечность. Калуга, ул. Жореса, 3. К. Циолковский. На возражения ответ печатный будет".

К. Э. Циолковский прислал мне свои философские произведения, оказавшие на меня глубочайшее впечатление. Переписка с К. Э. Циолковским дала мне не только толчок к дальнейшему увлечению идеей космического полета, но и приобщила меня к его морально-этическим взглядам, к его мировоззрению, в основе которого лежало преклонение перед Вселенной и ее гармонией. С этих лет ощущение и сознание того, что мы, люди, являемся частью Вселенной, частью ее Красоты и Тайны — мировосприятие, которым я обязан К. Э. Циолковскому, не покидало меня.

Прочитав "Монизм", я пришел в такое состояние, что сразу же начал сочинять стихи Циолковскому:

Спасибо, чудак седовласый,
Ты воскресил мои мечты ...

Но послать их, конечно, не решился, а просто написал ему:

"Вы говорите о вечной, сложной жизни космоса. Я не вижу тут и доли мистики. Ничего, кроме научного знания. Вы заставляете человека жить сознанием космоса, повергаете его в восторг от созерцания бесконечной жизни мира. Вы правы, знание жизни Вселенной, понимание себя как ее части дает Человеку радость и спокойствие. Одно лишь вырывает-ся по прочтении Вашей книги: к знанию, к светлому великому будущему Человека!..."

Циолковский придал этим моим словам большое значение. Сначала он опубликовал их в книге "Причина космоса", вышедшей уже в августе 1925 года, в которой разъяснял ряд положений "Монизма", а затем и во втором издании "Монизма" в 1931 году в специальном разделе, в котором привел отклики, вопросы и возражения читателей и свои ответы на них.

Сразу присланная мне "Причина космоса" вызвала у меня ряд возражений, существенно инспирированных моими тогдашними скептицизмом и крайней антирелигиозностью. Я отправил в Калугу большое письмо: "Многоуважаемый Константин Эдуардович!

По получении присланной Вами брошюры "Причина космоса", за которую приношу Вам сердечную благодарность, у меня возник ряд несогласий с Вами. Конечно, вопрос о причине космоса далеко не праздный: искать причины — свойство человека. Многолетним, случайным и рациональным опытом человек убедился, что без причины ничего не происходит. Есть ли, может ли быть причина космоса? Всякое явление, протекающее на наших глазах, есть явление прежде всего в космосе, и, ища причину, мы находим ее в том же космосе, у нас есть аршины для измерения этих явлений, для суждения о них, то есть, иными словами, явления, замечаемые нами, прошедшие и настоящие, того же порядка, что и причины. Если человек создал автомобиль, то хотя человек и сложнее автомобиля, но оба они соизмеримы.

Вселенная бесконечна, но имеет измерения, пространство, время, силу и т.п. Причина космоса, как Вы сами подтверждаете, видимо, совсем иного порядка, она имеет свойство создавать и разрушать то, что, согласно установленным нами законам, не создается и не уничтожается.

Наука говорит, что Вселенная бесконечна по времени, Вы же говорите, что это творение разума, субъективность, а почему же не субъективность признание причины Вселенной?

Видимо, судить об этом рано. Разве можно говорить о причине явления, не уяснив себе сам механизма явления: ведь наши познания о космосе далеко еще не полны.

Нельзя измерить расстояние пудами, а вес аршинами, и Вы, следуя неизбежности, отнимая от причины материальность и все осязаемые свойства космоса, придаете ей свойство разума, милосердия, высшей любви, то есть все те свойства, которые объективно не существуют в космосе (в источнике наших знаний), но являются лишь нашими, человеческими, вполне субъективными понятиями. Все наши познания имеют началом опыт, и на основании этого же опыта Вы строите свои соображения о причине космоса, но из опыта никогда и никто еще не познавал существования воли, разума, духа и т.п., не связанных с осязаемыми вещами в широком смысле слова. Я не отрицаю разума космоса, но считал его бессознательным (то есть, употребляя термин "Разум космоса", я понимал его не в таком смысле, как, скажем, понимают "разум" в общечеловеческом, говоря о разуме человека). Вы говорите даже о цели, которую имела причина, этого я совсем не могу принять; с моей точки зрения, слово "цель" существует только для удобства изъяснения, объективно же цели не существует: ни одна причина не имела цели, но всякая

цель — причину. Признать существование причины, непознаваемой причины, я никак не могу, мир не имеет начала не так, как его не имеет кольцо, которое гоняют по улице малыши, а как кольцо бесконечно большого радиуса. Я материалист, и с моим материализмом не вяжется нематериальная причина космоса. 19-20 / IX- 1925 г. Д.Блохинцев".

Р. С. Буду просить Вас объяснить мне (что я не уяснил себе из Вашей брошюры "Исследования миров.простр.реакт.приборами"), куда девается пропадающая энергия газов в ракете (не учитывая тепловую потерю). Так, с моей точки зрения, имеет место следующее уравнение:

$$\frac{M_2 c^2}{2} = \frac{M_1 c^2 (\lg nat \frac{M_2}{M_1})^2}{2} + \mathcal{Q},$$

где: M_2 — масса взорв.газа; c — его скорость, M_1 — масса ракеты, и \mathcal{Q} —исчезнувшая бесполезно энергия. $M_0 = M_2 + M_1$. Чему равно \mathcal{Q} ?"

Константин Эдуардович ответил письмом от 28 сентября:

Москва, I-я Гражданская, д.8, кв. 4, Д.Блохинцеву.

По таблице Вы видите, что только часть энергии газов передается ракете (не более 60%). Остальная часть остается у движущихся продуктов горения. Скорости этих выбрасываемых частиц (абсолютные, не относительно ракеты) в каждый момент различны. Интеграл их кинетической энергии и составляет пропавшую часть — не меньшую 30%.

Я предупреждал читателя, что рассуждения о причине — философия отчасти, и потому доказать ее строго научно невозможно. Очень благодарен Вам за письмо, я перечитал его раз десять и еще буду читать. Оно послужит мне материалом для других работ. Субъективны не космос и причина, а представления о них. Поговорим, вероятно, еще о В. письме. С совершенным уважением. К.Э. Циолковский".

Обещанный "разговор" состоялся в брошюре К.Э. Циолковского "Образование солнечных систем и споры о причине космоса", вышедшей в Калуге в том же 1925 году. Возникшая у нас дискуссия отражена в ней так:

Д.Б. (из моего следующего письма): "Из Вашей же книжки видно, что причина имеет мало общего с космосом, и я ничего против этого не имею. Но Вы отнимаете от нее материальность, с чем я, как материалист, примириться не могу. Непонятно также, как Вы можете ей приписывать свойства космоса, хотя бы и в высшей степени, раз она нематериальна.

Ответ (К.Э. Циолковского):

"Дело не в материальности и не в обратном. Вы можете основу Вселенной и ее причины называть энергией (как Освальд), материей (как Бухнер), мыслью (как Платон). Тут разница в словах, а космос остается космосом, с его законами, определенными наукой. Суть в

том, что мы на основании фактов должны признать за причиной свойства творимого в высшей степени плюс нечто, не имеющееся во Вселенной.

Вас смущает субъективность таких слов, как скромность, разум, доброта и т.п. Но ведь все, исходящее от человека, субъективно; конечно, и его понятия о причине. Только самая сущность мира и его причины — не субъективность. Эти понятия представляют сложные продукты Вселенной. Человек не может без них обойтись, пока он Человек. Надо помнить изречение одного из героев Чехова: все относительно, приблизительно и условно.

Так, абсолютная (и это понятие условно) величина космоса может быть известна и приравнена к нулю и к бесконечности, смотря по тому, с чем мы ее сравниваем. Она может быть просто пилинкой в сравнении с ее причиной, как одна бесконечность может быть нулем по сравнению с другой, высшей. Эта высшая также нуль по отношению к третьей, еще более высокой. Вспомните прогрессирующие математические ряды".

Теперь я глубже понимаю Циолковского, чем в те юношеские годы, и менее готов с ним спорить: для меня он явился откровением, и поэтому спор с ним был бы с моей стороны кощунством. Теперь я понимаю, почему, обосновывая необходимость понятия о причине космоса, К.Э. Циолковский, споря с теми, кто отождествляет причину космоса с самим космосом, с самой Вселенной, говорит:

"... Но тут возникают вопросы: отчего Вселенная дала добро, а не зло, отчего она такая, а не другая! Ведь можно вообразить другой порядок, другое строение, другие законы природы!"

(Добавим от себя: Вселенная могла бы и не существовать).

К.Э. Циолковский верил в то, что "величайший разум господствует в космосе, и ничего несовершенного в нем не допускается"

Он приписывает причине космоса многие антропоморфные черты. Поэтому его понятие о "причине" во многих отношениях не менее наивно, нежели понятие о боге в большинстве религий. Это несколько шокирует меня и сейчас, но несущественно: есть понятия, для выражения которых не хватает слов. Разумнее говорить о боге как об интегральном символе всего благонамеренного к человеку, и о сатане — как о символе всего недоброжелательного, античеловеческого. Так или иначе важна глубокая вера Циолковского в разумное устройство мира, в его гармонию и его благонамеренность по отношению к человеку, ко всему живому.

Циолковский правильно отмечает, что человек не может обойтись без понятия о причине космоса и без веры в ее благонамеренность, "пока он Человек". Причина космоса непостижимо превосходит сам космос и составляет его тайну, но она благонамеренна.

Это убеждение в красоте и гармонии мира, в благонамеренности его тайны оставляет и теперь меня поклонником идей Циолковского, его мировоззрения: именно он впервые приобщил меня к пониманию величия мира.

Позже я узнал, что это же отношение к миру украсило жизнь и другого замечательного человека — П. Кропоткина, который писал:

"... Я увлекся, в особенности в последний год пребывания в корпусе, чтением по астрономии. Никогда не прекращающаяся жизнь Вселенной, которую я понимал как жизнь и развитие, стала для меня неиссякаемым источником поэтических наслаждений, и мало-по-малу философией моей жизни стало сознание единства Человека с природой, как одушевленной, так и неодушевленной".

В юности я со своим товарищем сделал самодельный телескоп. В морозные ночи, восхищенные зрелищем, мы ловили дрожащие звезды и спокойные планеты.

Головокружительно сокращались расстояния. Редели звезды. Мы как бы влетали в космос, устремленные то к Луне, то к Марсу. Границы, отделявшие нас от мира, становились зыбкими, и мы чувствовали музыку небесных сфер, от которой захватывало дух и сладко щемило сердце. Прошло много лет. Увлечшись физикой, я оставил ракеты. Память о них сохранились письма К. Э. Циолковского, мои протоколы, чертежи 1923—1925 годов.

Но никогда не покидало меня чувство высокой радости от созерцания ясного ночного неба, и никогда не забывал я романтическую марсианку Аэлиту ...

ВСТРЕЧА С ГЛАВНЫМ КОНСТРУКТОРОМ

С людьми, продолжавшими работать над ракетами, мне не пришлось встретиться до открытия космической эры. Мы не знали друг друга, и пути наши не пересекались.

Аэлита вновь позвала меня в разгар великой атомной эпопеи.

У меня сохранились давнишние расчеты ракеты, движимой энергией радия. Но почему бы не использовать могучую энергию у р а н а , ту самую, что привела в движение турбину первой в мире атомной электростанции?

Принципиальная возможность была ясна — практическая реализация требовала огромной работы, начиная от выбора варианта до испытаний образцов двигателей ... Эта работа была, конечно, не под силу одному человеку.

Вспоминаю эпизод ... Из-за стола встает человек среднего роста, плотный, с широко и глубоко посаженными темными глазами. Казалось,

он смотрит откуда-то издали, со стороны, спокойным умным взглядом. Что же он скажет? Он возражает: "параметры неутешительны".

Он берет логарифмическую линейку, что-то вычисляет ...

"Расчет тоже неверен ..."

"Позвольте, в чем же? Я знал эту формулу еще в четырнадцать лет! Я не мог ошибиться. В Вашем утверждении какое-то недоразумение ..."

В садике роз, перед большим зданием, я прощался с ним:

"До свидания, "могильщик" атомной энергии".

Он: "До свидания, "марсианин".

К счастью, это не было последним "прости". Позднее я встречал больше сочувствия, понимания и дружелюбия.

С гордостью за нашу науку и технику, за первых героев космоса он показывал мне тот обгоревший шарик, на котором возвратился на Землю Дриш Гагарин после своего исторического полета. Более того, он позволил мне залезть в него и в шутку сказал: "Хотите, и Вас запустим в космос, только не нервничайте и не дергайте вот эти красивые ручки. Вас и так вернем". Это было после полета Валентины Терешковой. "Ее полет произвел огромное впечатление на американцев. Они поняли, что раз мы решились отправить в космос женщину, значит, наши корабли очень надежны!" — сказал тогда Сергей Павлович Королев.

Большой болью отозвалась его преждевременная смерть. Он был на месте — энтузиаст, талантливый инженер, отличный организатор. Я всегда думаю, что время само выбирает себе людей для исполнения своих свершений.

КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ — ЗЕМЛЯ

Ночь. Я не могу оторваться от иллюминатора. Неведомая бездна океана сливается с чернотой неба. Оно заполнено тонкой пылью звезд. В этой космической пыли висит одинокий, ослепительно светлый диск Луны. Я не вижу и не чувствую никаких расстояний. Пустыня космоса. В пустыне маленький самолет, и в нем несколько десятков людей, объединенных общей судьбой. Тогда родилось то, о чем хотелось сказать людям нашей Земли. И случай пришел.

Январь 1969 года. США. Майами, Rochester. Огромный банкетный зал заполнен учеными, собравшимися на конференцию по физике высоких энергий. Среди всех — знаменитые Дирак, Вигнер, Виллер, Теллер, Корсуногло, Зварькин. Стол спикеров. Скучная речь председателя атомной комиссии, какие-то еще профессиональные речи с шутками на тему о квантовой механике ... И вот моя очередь. Я знал — скуку не протят.

Еще в большей степени не простят мне, представителя Советского Союза, пустоту.

"Люди и джентльмены!"

Прежде всего я хотел бы поблагодарить наших хозяев, и особенно профессора Р. Маршака, за исключительно теплый прием, оказанный нашей советской делегации. Сейчас, когда конференция подходит к концу, мы сознаем, что узнали много новых вещей и что эта конференция — новый шаг в нашем проникновении в загадочный мир частиц. Мы надеемся и в будущем иметь много подобных встреч, которые помогут нам открыть и познать новые вещи и идеи.

Но эти встречи имеют и другую сторону. Здесь я прочел в газетах: "Физики игнорируют напряженность в мире". Я думаю, что много от настоящих ученых трудно было бы и ожидать. Это объясняется тем, что наша планета становится все меньше и меньше: в 1957 году нам потребовалось около 20 часов, чтобы долететь до вашего континента. Сейчас потребовалась только половина этого времени. И я думал в самолете, что мы, все люди этой планеты, не что иное, как пассажиры маленького космического корабля, летящего в темном и мрачном пространстве. Я должен напомнить Вам, что никто не знает ответа на такой простой вопрос: откуда и куда мы летим. Глупо и безрассудно ссориться в этой ситуации. Я могу Вас уверить, что наш народ, строящий новое общество, верит, что не только "сосуществование", но и настоящая дружба между нашими народами реальны, возможны и необходимы. Поэтому я предлагаю тост за сотрудничество в развитии человеческого познания и за мир и дружбу в нашем космическом корабле, имя которому "Земля".

Так родилась "теория космического корабля".

На следующий день рочестерская газета сообщила: "Ведущий советский ученый сказал прошлым вечером, что "это полная бессмыслица и сумасшествие — ссориться народам мира. Доктор Дм. Блохинцев из Дубны вызвал непроизвольный взрыв аплодисментов в мировом обществе физиков своим замечанием. Его спич на обеде произвел такое впечатление, что Р. Маршак, президент конференции, и председатель Атомной комиссии Д. Коун попросили копии этого спича".

Вернувшись в Москву, я поклонился на площади Пушкина великому поэту за то, что он учил нас "глаголом жечь сердца людей..."

ЗА ВЕЛИКИХ ЛЮДЕЙ НА МАЛЕНЬКОЙ ЗЕМЛЕ!

Путь в космос проложили русские люди. Им и первая слава! По нашему пути пошли американцы, представители других народов. И теперь, когда людям удалось увидеть этот корабль — Землю — издали, мысль о малости Земли становится почти тривиальной. Известно, что командир

"Аполлона-8" Фрэнк Борман, смотря на голубую Землю, сказал: "А ведь это совсем небольшой глобус". И он был прав. Она мала, наша планета, наш "Ноев ковчег", плывущий в потоке космического мрака, в неосязаемой пустоте.

Много, много на Земле еще "бесстрашных" людей, готовых взорвать наш космический корабль, лишь бы доказать правоту своей доктрины или преимущества своей "системы порядка".

Бесстрашных? Скорее, попросту безответственных, тупых и слепых.

Полет Дрия Гагарина, других космонавтов вокруг Земли, полеты "Аполлона" к Луне — великое достижение человеческого разума и человеческой воли. Их главное значение не в технических успехах и даже не в научных открытиях, а в той революции в головах, которая становится неизбежным следствием внедрения в психологию людей понимания малости земного шара, затерянности и одиночества его в космическом пространстве.

Ускорение полетов над Землей, переход к полетам на сверхзвуковых самолетах будут способствовать этой психологической революции...

Вспоминаются пророческие слова Тараса Шевченко, которые можно прочесть в Каневе, на его могиле:

"Великий Фултон! И великий Уатт! Ваше молодое, не по дням, а по часам растущее дитя в скором времени пожрет кнуты и короны, а дипломатами и помещиками только закусит... То, что начали во Франции энциклопедисты, то довершит на всей планете ваше колоссальное, но гениальное дитя. Мое пророчество несомненно".

Применяя эту замечательную мысль Т. Шевченко к нашему времени, следует сказать: "Сверхзвуковые самолеты, космические корабли, теле- и радиосвязь сметут преграды, разделяющие людей по их расовым, национальным и классовым признакам, по их религии или их лженауке.

Они сметут жрецов догматизма и человеконенавистничества. Всех тех, кто будет противостоять объединению людей на основе разума и понимания единства целей людей, обреченных скитаться в космосе на небольшом космическом корабле "Земля".

Мы раскрыватели тайн, мы будем заглядывать во все уголки Вселенной, чтобы узнать и понять. Наше знание нарастает со скоростью цепной реакции. Оно основа нашего могущества.

Но ощущение нашего родства со всей Вселенной, вера в ее одухотворенность и благонамеренность по отношению к человеку, преклонение перед ее гармонией и красотой всегда было и будет ничем не заменимым душевным богатством людей. Только такое взаимоотношение с окружающим миром способно дать человеку ощущение своей значимости, выходящей за пределы бессмысленной и скучной поденщины.

Отношение Циолковского к природе — это отношение почти (здесь я не побоясь употребить это слово в положительном смысле) религиозное. Это преклонение.

Я и после встречался с другими такими же людьми. Я обещал рассказать только об одном человеке, но не удержался и вспомнил Королева. И теперь мне трудно удержаться, чтобы не напомнить имя еще одного человека, который оказал на меня очень большое влияние. Это Игорь Васильевич Курчатов.

В моем возрасте ясно видишь прошедшее и трезвее оцениваешь будущее. Поэтому я хочу пожелать молодежи держаться поближе к таким "флюоресцирующим" людям.

Д.И.Блохинцев

В середине 50-х годов в Обнинске обсуждалось строительство реактора постоянного потока нейтронов для экспериментов в пучке нейтронов, в основном, для нейтронной спектроскопии. Этот реактор должен быть снабжен селектором для работы по "методу пролета".

Вся эта идея мне показалась весьма несуразной: строить реактор большой мощности и затем использовать лишь ничтожную часть этой мощности в виде коротких импульсов, посылаемых селектором — прерывателем пучка. Ведь при вращении селектора большую часть времени пучок перекрыт. Он открывается лишь на короткое время, пока щель пересекает пучок. А не разумней ли, осенила меня мысль, заставить работать реактор импульсами, периодически разжигая в нем цепную реакцию? Тогда отпала бы необходимость в селекторе, но самое главное преимущество заключалось бы в том, что реактор мог бы иметь совсем небольшую среднюю мощность и очень большую — в коротком импульсе, в течение которого и производится измерение.

Тогда я предложил идею построить реактор, в котором мощность в импульсах не уступала бы мощности самых мощных реакторов постоянного — не импульсного действия — и который бы почти не расходовал дорогое атомное топливо — плутоний.

Механизм осуществления импульсов, предложенный мною, был крайне прост — моделирование реактивности предполагалось осуществить вращением диска, содержащего делящееся вещество (уран-235).

Отсюда и возникла конструкция такого реактора: он должен состоять из двух частей — основная часть его активной зоны А должна быть неподвижной, другая часть, Б, закрепляться в быстро вращающемся диске — роторе. Когда Б при вращении ротора проходит мимо А, реактор становится сверхкритичным, в нем развивается мощная цепная реакция, которая, однако, тотчас же затухает, поскольку Б удаляется от А.

Эта идея очень понравилась участникам дискуссии. Мы начали подробные расчеты. Реактор назвали "Импульсный быстрый реактор" (ИБР).

Была разработана теория этого реактора в Физико-энергетическом институте, в отделе А.И.Лейпунского, талантливым, рано умершим из жизни, физиком И.И.Бондаренко. Группа О.Д.Казачковского взяла на себя разработку конструкции реактора, системы управления им, аварийной защиты, необходимые физические расчеты. Не обошлось и без содействия

x) Газета "Вперед" (г.Обнинск) от 11 января 1983 г.

нашего технолога В.А.Малых, который разработал способ крепления урана в стальном вращающемся диске. Сам диск и система его привода были разработаны под руководством выдающегося инженера Г.Е.Блохина.

В 50-е гг. передний фронт физики перемещался из области ядерной физики в физику элементарных частиц. В это время И.В.Курчатов обратился ко мне с предложением принять на себя новую обязанность — пост директора Международного института, который по инициативе нашего правительства решили создать в Дубне. Были поддержаны мои предложения создать в Дубне две лаборатории: нейтронной физики и теоретической физики, а также построить в Дубне импульсный реактор на быстрых нейтронах (ИБР-1). Так реактор ИБР-1 я принес в ОИЯИ с собой в качестве "приданого".

Здесь уместно вспомнить, что руководство Государственного комитета по атомной энергии намеряло строить в ОИЯИ реактор постоянного потока, большой мощности, для технических целей. Это предложение казалось мне несостоятельным, так как физики Дубны имели совсем другой профиль работы — их интересы сосредоточивались в области элементарных частиц. Для плодотворной работы по прикладной ядерной физике и ядерной технологии требовались модальности другого профиля. Более того, потребовались бы совсем новые лаборатории ("горячая", химическая, технологическая" и т.п.). В сущности, надо было бы заново создавать нечто, подобное ФЭИ. Это совсем не укладывалось в реальные возможности нового института, который был предназначен, в основном, для исследований в фундаментальной науке.

Вот тут-то и родилась у меня мысль: вместо сооружения в новой нейтронной лаборатории мощного дорогостоящего, трудного в эксплуатации реактора постоянной мощности, установить импульсный реактор на быстрых нейтронах (ИБР-1), разрабатываемый нами в Обнинске, в физико-энергетическом институте.

Это мое предложение о строительстве ИБР было поддержано И.В.Курчатовым и принято руководством ГКАЗ в 1956 г. Реактор ИБР-1 был дополнен инжектором, тем самым существенно расширялись его возможности применительно к ядерной, нейтронной спектроскопии.

23 июня 1960 года импульсный реактор ИБР-1 был запущен. Возглавляемая мной бригада по созданию и пуску ИБР-1 в основном состояла из сотрудников ФЭИ. Я был счастлив работать с обнинцами, в атмосфере живого интереса, самоотверженного труда и дружбы, что позволило создать и запустить ИБР-1 в рекордно короткий срок.

Реактор ИБР-1 совершенно необычен и по внешнему виду, и по существу. Внешне он больше похож на мощный вентилятор, чем на реактор. По существу, это аппарат, производивший маленькие атомные взрывы. Тысячи раз в минуту.

Опыта управления таким реактором еще не было, и нужно было проявить большую осторожность, чтобы изучить все его повадки. Нас беспокоили отклонение хода реакции, опасность перехода из микромира в макромир. Одно время казалось, что умопомрачительный хаос микромира вот-вот вернется в мир порядка, в макромир, и разрушит наши планы, а может быть, и нас самих. Беспокойно металась зеленая линия осциллографа: не было и следа закономерности. Тогда я подумал о том, что, живя мы в микромире, наши нервы не выдержали бы подобного хаоса. Мы нуждаемся в некотором порядке: на Земле, в море, в атмосфере и в обществе. Ни одно живое существо не в состоянии выдержать слишком частых и резких перемен. Но все обошлось: с ростом средней мощности реактора законы больших чисел взяли свое — случайные отклонения стали относительно меньше, реакции стали спокойнее. Атомный котел стал управляем.

Да, ожил тяжелый металл, и теперь рвется самое сердце атомов. Сотни, тысячи, миллиарды нейтронов рождаются и вновь захватываются в ничтожные доли секунды: цепная реакция продолжается. Обуздан неистовый атом плутония.

Впервые в мире реактор заработал в сверхкритическом режиме. Мы как бы дразнили прирученную атомную бомбу тысячи раз в минуту. Огоньки пересчеток, красная линия самописца. Пулеметная трескотня анализаторов и ползущая лента тысяч чисел.

Позднее, вечером, пустили реактор на полную мощность. Набрали первый киловатт-час и пошли всей бригадой купаться на Волгу.

В эту теплую ночь впервые в Дубне рвались на части ядра плутония, которым был заряжен реактор.

Позднее реактор был усовершенствован, дополнен электронным ускорителем — микротроном. Это позволило сделать его импульсы значительно короче. Вместо десятков микросекунд только несколько микросекунд. Тем самым крайне повысилась точность измерений. Была поднята и его средняя мощность, сначала до нескольких киловатт, а позднее, в результате существенной реконструкции, она была доведена до 30 кВт (ИБР-30). В отдельных импульсах его мощность достигала огромных значений — десятков тысяч киловатт.

Реактор типа ИБР доказал свою управляемость и надежность. Он показал, что импульсный источник является отличным орудием для разносторонних исследований по строению ядра, физике деления, физике реакторов, по изучению твердых и жидких тел и самого изучения нейтрона как элементарной частицы. На нем было выполнено большое число физических исследований с активным участием наших коллег из всех социалистических стран. Эти исследования позволяли полнее представить себе структуру атомного ядра и изучить типы реакций. Были получены

новые данные о структуре твердых и жидких тел; сотрудники ФЭИ уточнили важнейшее - коэффициент воспроизводства атомного топлива в реакторах-размножителях на быстрых нейтронах.

Позднее под моим научным руководством разработан проект более мощного импульсного реактора (ИБР-2), сооруженного и запущенного в 1977-1978 гг. в Дубне. Средняя мощность его превзойдет среднюю мощность ИБР-30, а в отдельных импульсах она возрастет до колоссальных значений - около 700 000 кВт! Пуск этого реактора дает новые возможности международному коллективу ученых Объединенного института ядерных исследований для изучения атомного ядра, элементарных частиц и структуры твердых и жидких тел.

По опыту дубненских и обнинских ученых реакторы типа ИБР сооружаются сейчас в Японии и Индии.

Датский физик Нильс Бор, посетивший Дубну и, в частности, Лабораторию нейтронной физики, очень заинтересовался простотой идеи, положенной в основу периодически действующего импульсного реактора, и сказал: "Я восхищен мужеством людей, решившихся на сооружение такой замечательной установки!"

ДВЕ ВЕТВИ ПОЗНАНИЯ МИРА *

Д.И.Блохинцев

Человек и три его особые сути

Многообразие живых существ огромно. Образ жизни многих из них не имеет с нашим ничего общего. Но отличие человека от существ, сравнительно близких к нему, не менее радикально.

Самый простой пример. Археологи обнаруживают останки некоего примитивного существа, обнаруживают следы его деятельности. Кто он? Человек он или еще нет? Как ответить на этот вопрос?

Следуя Энгельсу, в качестве решающего критерия принимает способность производить орудия производства. Действительно, если приглядеться к находкам в поселениях доисторического человека, то мы обнаруживаем там материализованные следы такой духовной жизни, которая абсолютно чужда всем другим видам, населяющим Землю. Это изобретения, целая цепь изобретений, тянущаяся из глубины времен: изобретение обработки орудий, шкур, величайшее из изобретений человека - очаг. Изобретение копья, лука, колеса, лодки, паруса, приручение домашних животных и т.д.

Все эти достижения были следствием пристального наблюдения природы и великих озарений, посещавших время от времени умы неведомых нам изобретателей, подлинных гениев своей эпохи. Они явились теми ступенями, по которым человечество поднималось над остальным животным миром. Сыграла свою роль важнейшая особенность человека как биологического существа - его любознательность, любознательность, повышенная способность к наблюдению и анализу.

Неодолимое стремление к познанию мироздания заложено в глубинах человеческого разума и составляет первую суть человека. Именно эта особенность являлась до недавнего времени основным стимулом развития фундаментальной науки.

Вторая суть человеческого рода состоит в особой способности к накоплению и распространению приобретенных знаний. В пределах одного поколения они распространяются по принципу цепной реакции - один

* Техника молодежи, № 3, 1982, с.18-23.

человек передает свои знания нескольким другим; каждый из них - дальше. Этот характер передачи знаний особенно ясно виден в системе современного обучения.

Однако важнейшая особенность человека состоит в способности передавать знания от поколения к поколению в расширенном объеме, с некоторым коэффициентом умножения, заметно превышающим единицу. Этот феномен не наблюдается у других представителей животного мира Земли*.

Третья суть человека - неодолимая потребность в эмоциональном контакте с окружающим миром.

Начиная с глубокой древности, мы находим наскальные рисунки и примитивные сооружения (вроде знаменитых кавказских дольменов), показывающие, что у человека всегда имелась потребность создавать предметы, не имеющие непосредственного отношения к хозяйственной, практической деятельности. Они были предметом искусства и религии и относились к совсем другой стороне деятельности человека - к организации его душевных эмоций. Эта важнейшая особенность человеческой активности достигает совершенной значительности в историческое время, когда создаются величайшие произведения искусства - строятся храмы, гробницы, мавзолеи, развиваются скульптура и живопись. Эмоциональное воздействие этих творений настолько велико, что и современный человек испытывает душевный трепет, созерцая великие памятники прошлого. Измените древние памятники Греции и Рима, России и Мексики, Индии и Перу, и мир покажется опустошенным.

Ощущение своего родства с бесконечной Вселенной, вера в ее благонамеренность по отношению к человеку, преклонение перед ее гармонией и красотой всегда были и будут ничем не заменимым душевным богатством людей.

Только такое взаимоотношение с окружающим миром способно дать человеку ощущение своей значимости, выходящей за пределы бессмысленной и скучной поденщины.

Мне приходилось видеть стаи кеты, идущей вверх по рекам на нерест. Я думал: знает ли она, что идет на верную смерть? Очевидно, не знает. А не прекратился бы ее род, если бы она знала, что ее ждет?

Возможно, что человек - единственное живое существо на Земле, на долю которого выпало понимание конечности своего индивидуального существования, понимание ожидающей его смерти. Создание памятников есть проявление страстного желания преодолеть эту конечность, обеспечить себя в жизни будущих поколений.

*Подробнее об этом см. статью Д.И.Блохинцева в журнале "Техника - молодежи", № 8 за 1979 год.

Поэтому, в этой третьей, особой сути человека, быть может, отражается потребность установить отношение между конечным (человек) и бесконечным (Вселенная).

Многие великие люди понимали значение этой особенности человека: то, что здесь сказано, есть лишь экстракт из их мировосприятия и миропонимания.

Если первые две сути человека являются основой технического и социального прогресса, то третья необходима для обеспечения эмоциональной жизни людей - она основа искусства. Она же была основой религий.

Нарушение эмоциональной гармонии человека с окружающим миром ведет к психическим заболеваниям, к наркомании, алкоголизму, к преступности, к разрушению личности и общества.

Наука

Наука основывается на первой сути человека - на его любознательности, на стремлении познать мир и свое положение в нем. Она добытчица истины.

Исключительная по глубине способность к наблюдению и мощнейший аппарат логического мышления отличают человека от других животных, населяющих известный нам мир.

Наука основывается на рациональном логическом мышлении. Логика - ее важнейшее оружие. Эмоциональная сторона играет в научной деятельности немаловажную, но все же второстепенную роль.

Сама по себе способность к познанию внешнего мира есть, очевидно, необходимое условие существования жизни. Однако та степень этой способности, которую проявляет человек, выглядит как чудо, еще ожидающее своего разъяснения. Хотя, конечно, далеко не всех она удивляет.

Современный научный работник настолько поглощен своей деятельностью в узкой области, что рассматривает научную деятельность как нечто само собой разумеющееся. Он не удивляется самой возможности познания мира, его непостижимой красоте и гармонии. Картина Вселенной в его сознании приобретает характер самоочевидной и скучной тривиальности.

Тайны мироздания для такого деятеля ничем не отличаются от "тайн" учебника, который он пока не удосужился протудировать. Научная деятельность в своей самой распространенной форме превратилась за последнее время из призвания и подвига в профессию, которой можно легко овладеть.

На заре развития современной науки величайший гений всех времен Исаак Ньютон писал: " Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе

я каюсь только мальчиком, играющим на морском берегу и развлекающимся тем, что время от времени отыскиваю камешек более цветистый, чем обыкновенно, или красивую ракушку, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным".

В статье, посвященной Иоганну Кеплеру, А.Эйнштейн выразил глубокое изумление перед тем фактом, что открытия греками кривые конических сечений, абсолютно ненужные в их практике, оказались теми кривыми, которые с огромной точностью описывают форму орбит планет и спутников. А.Эйнштейн писал: "К восхищению перед этим замечательным человеком (Кеплером) добавляется еще чувство восхищения и благоговения, но относящееся не к человеку, а к загадочной гармонии природы, которая нас породила: еще в древности люди придумали кривые, которые соответствуют простейшим законам. Наряду с прямой и окружностью среди них были эллипс и гипербола. Последние мы видим реализованными в орбитах небесных тел, во всяком случае с хорошим приближением.

Представляется, что человеческий разум должен свободно строить формы, прежде чем подтвердится их действительное существование.

Замечательное произведение всей жизни Кеплера особенно ясно показывает, что познание не может расцвести на голой эмпирии. Такой расцвет возможен только из сравнения того, что придумано, с тем, что наблюдается".

Абстрактная, "воображаемая" геометрия Н.И.Лобачевского, созданная им как логическая возможность, построенная по идеалу красоты и гармонии, оказалась необходимой для описания пространства скоростей в физике элементарных частиц. Геометрия Римана нашла свое применение в общей теории относительности - в теории всемирного тяготения. Теория комплексного переменного - теория "мнимых" чисел - применяется в гидродинамике и в других областях физики.

Видимо, этот исторический опыт позволил П.Дираку высказать утверждение, что важно получить красивое, логически стройное уравнение, а опыт, использующий это уравнение, найдется со временем:

"По-видимому, если глубоко проникнуть в сущность проблемы и работать, руководствуясь критерием красоты уравнений, тогда можно быть уверенным, что находишься на верном пути. Если же нет полного согласия теории с экспериментом, то не стоит слишком разочаровываться, ибо это расхождение вполне может быть вызвано второстепенными факторами, правильный учет которых будет ясен лишь при дальнейшем развитии теории".

Итак, человеческий разум, руководствуясь принципом красоты логического построения, которая сама не поддается определению, ока-

зывается способным предсказывать возможные закономерности внешнего мира, с которыми он еще не имел случая встретиться в жизни. Но значит ли это, что наш разум посвящен в тайны мира, но не помнит, когда и где произошло это посвящение?

Тем не менее, рассматривая ту или иную теорию, мы прежде всего оцениваем ее логическую структуру и только затем судим о ее красоте или несовершенстве. Таким образом, в случае науки речь идет о красоте логического рационального построения. Следовательно, в науке логика предшествует эмоции, хотя и последняя играет немаловажную роль.

Искусство

Искусство опирается на третью сущность человека - на его neodолжимую потребность в эмоциональном контакте с внешним миром.

Искусство исходит из эмоционального восприятия внешнего мира. Рациональное, логическое мышление играет в искусстве второстепенную роль, само по себе базируясь в этом случае на эмоции.

В этом заключается основное отличие искусства от науки.

Деятельность человека, которую мы называем искусством, базируется на субъективном наблюдении мира и эмоциональном его восприятии художником. Логическое мышление приходит в искусство как вторичная структура. Наука и искусство имеют только то общее, что их целью является открытие нового, другими людьми не замеченного.

В первом случае имеется в виду открытие законов природы и общества, во втором - новое, более глубокое восприятие мира, запечатленное в образах.

Подобно тому, как ученый, идущий по пройденному пути, - это лишь педагог или популяризатор, но не творец нового, так и художник, повторяющий других мастеров искусств - в лучшем случае полезный ремесленник.

Наука и искусство - это два дополняющих друг друга отношения к окружающему миру, и ни одно из них не в состоянии заменить другого. Ни одному из них нельзя отдать превосходства, поскольку методы воздействия на человека совершенно различны.

Наука исследует мир объективными методами. Она открывает нам законы природы и создает тем самым основу материального существования человечества.

Искусство вытекает из непосредственного контакта с миром и через эмоциональное воздействие объясняет нам структуру мироздания и сущность человека.

Короче это можно сформулировать так: наука есть основа миропонимания, искусство - основа мировосприятия.

Их сумма есть основа гармонического восприятия мира — основа человеческого мироотношения.

На ранних этапах развития человеческого общества противопоставление науки и искусства было почти невозможным. В значительной мере наука и искусство объединились в религии.

Только на очень поздней стадии наука отделилась от религии и даже вступила с ней в острое противоречие.

Потребность в эмоциональном контакте с внешним миром, необходимость организации эмоций преследовали человека с момента его отделения от остального животного мира. Сознание конечности своего существования и понимание неизбежности личной смерти заставили человека искать пути к вечности. Так возник культ предков, дух которых представлялся неумиравшим, сочувствующим в жизни живых людей. Упрощенно и наивно думать, что древнейшее искусство преследовало чисто утилитарные цели. Вряд ли справедливо понимание наскальных рисунков как руководство по охоте. Скорее всего оно вытекало из рано развившейся потребности закрепить свое "я" в памяти потомков. Это соображение подкрепляется тем фактом, что в более поздние эпохи развития человеческого общества эта тенденция стала совершенно ясной и выражалась в создании великих памятников: пирамид, храмов, дворцов.

Ни одно существо, кроме человека, не может похвалиться созданием столь "бесполезных" сооружений. Сооружений, которые требовали неимоверных усилий и жертв: доисторические дольмены, древние храмы эллинов и кхмеров, египетские пирамиды, храмы Мексики, средневековые соборы и русские церкви.

Эти усилия и жертвы оправдывались только острейшей потребностью организации человеческой души. Каков бы ни был "социальный заказ", истинное произведение искусства может быть создано только гением, который по самой своей сути не в состоянии насиловать себя, создавая произведения, противоречащие его мировосприятию и его миропониманию. Гениальные произведения искусства суть великое отражение духа эпохи, духа народа, даже в том случае, когда они эксплуатировались господствующими классами в их низменных интересах.

Эксплуатируемые классы не состоят из тупиц. "Простые" люди способны отделить идею от ее эксплуататоров. Отделить бога от жрецов. Бездельные строители наших храмов и церквей не могли быть попросту рабами, исполнителями чужой, лицемерной воли: они были великими художниками.

Величайший художник никогда не был рабом чьих бы то ни было чуждых его духу идей. Красоту нельзя создавать по приказанию, ибо она есть

выражение красоты внутренней, свойственной лишь самому творцу-художнику. Кто мог приказать построить Кижский или храм Покрова на Нерли?

Великий Микеланджело, работавший при поддержке пап римских и по их заказу, создал гениальное произведение, отражавшее светлый дух Ренессанса — стенную роспись и плафон Сикстинской капеллы. Он смело преобразил аскетических еврейских богов и пророков в сильных и жизнерадостных людей, прекрасных представителей эпохи Возрождения — пробуждения человеческой личности от кошмаров Средневековья. Такими же были Леонардо да Винчи, Рафаэль и другие великие художники, которые использовали религиозную тематику, чтобы показать красоту человека и рассеять страшный дурман того времени, когда католические монахи, превратившиеся в торговцев религией, загнали человеческую душу в мрачные углы средневековых храмов.

Великий русский художник Андрей Рублев не понял бы тех, кто стал бы толковать его гениальные произведения как орудия одурманивания народа. Он был истинным выразителем того светлого духа народа, который позволил ему одолеть тяжелое безвременье татарского ига и эгоизм феодалов. (Тарковский в фильме "Андрей Рублев" не сумел показать этого важнейшего обстоятельства).

Я видел, как меняются лица людей, входящих в собор Сан-Шапель в Париже: они становятся светлее и красивей. Я наблюдал тот же эффект созерцания красоты на лицах людей, стоящих перед Сикстинской мадонной в Дрездене, перед Венерой Милосской в Лувре, в Ватиканской капелле, расписанной Микеланджело, в Третьяковке перед иконами Рублева.

Правда и красота суть единственные герои искусства.

Истина и красота суть единственные предметы науки.

Там, где незаметно приотсутствие этих бессменных и бессмертных богов человека, нет ни искусства, ни науки.

Поэтому подлинные памятники искусства в архитектуре, скульптуре, живописи и литературе всегда были делом людей, могущих видеть и понимать более других своих современников.

Великие творения — звезды истории, напоминающие нам о том, что мы люди, что не единым хлебом жив человек.

Искусство и реальный мир

Искусство не призвано попросту копировать реальность. Буквальное копирование невозможно. Искусство призвано демонстрировать мир глазами художника, его слухом и его, художника, мышлением.

Великий поэт В. Гёте так писал о сущности поэтического творчества: "Размышления поэта относятся собственно только к форме; сюжеты представляют ему жизнь щедров рук; содержание само бьет из полноты его внутреннего мира; вне сознания встречаются они — так что в конце концов не знаешь, кому же принадлежат эти богатства."

Но форма, хотя она уже во всей полноте присуща гению, требует познания, требует мысли, и именно думать надо для того, чтобы пригнать форму, сюжет и содержание друг к другу так, чтобы они слились в одно целое, проникли друг в друга".

Итак, в художественном произведении имеются три компонента: сюжет — заимствованный из внешнего мира, содержание — раскрывающее смысл или идею, форма, которую избирает художник.

Выбор формы требует таланта и делает произведение произведением искусства. В дальнейшем я буду говорить преимущественно об изобразительном искусстве — оно наиболее близко мне.

Остановлюсь на проблеме "воспроизведения" реальности.

Даже научная фотография, предназначенная наиболее объективным образом отображать действительность, неизбежно односторонняя, в силу несовпадения ее средств со свойствами объектов. В фотографии невозможно воспроизвести то отношение яркостей, которое встречается в природе. Еще в большей степени это относится к живописи. Отношение яркостей на полотне художника не превосходит нескольких единиц, в то время как в природных условиях оно может измеряться огромными числами. Отблеск на воде и тень у камня отличаются по яркости в миллион раз.

Чтобы создать у зрителя эмоции и мысли, эквивалентные его собственным, художник пользуется условными приемами, заменяя контрасты цветовыми отношениями.

Художники-самородки лучше профессионалов понимают условность искусства. Они не стремятся посадить на конек крыши модель, воспроизводящую реального петуха.

Петушок на коньке крыши всегда был символическим, он был произведением искусства, которое никогда не рассматривалось как результат неумения сделать адекватную модель петуха.

Когда на сцену выводят живую лошадь, то впечатление от спектакля не усиливается, а ослабляется из-за возникновения мыслей, не имеющих отношения к спектаклю. Искусство условно, однако есть великий закон, ограничивающий произвол художника. Оно призвано воздействовать на зрителя через красоту даже в том случае, если художник изображает некрасивое и жесткое (например, распятие). Оно должно быть искренним и правдивым, даже если оно ему заказано.

Ложь и некрасивость несовместимы с искусством так же, как несовместимы с наукой подделка экспериментальных данных или бездоказательное отрицание нового.

Еще более ясна условность искусства в музыке, которая весьма редко пользуется звукоподражанием. Она создает свой собственный зву-

ковой мир, организующий чувство и мышление слушателя в том смысле, который вложил композитор в свое произведение. Существуют еще и другие ограничения в отношении произведений искусства, связанные с физиологией зрительного и слухового восприятий. Инфразвуки с частотой несколько колебаний в секунду (несколько герц) нарушают нормальную работу человеческого организма. Звуки силой более 120 децибел способны повредить органы слуха.

Резкие, хаотические звуки раздражат нервы человека. Совершенно периодические звуки усыпляют его. То же относится и к зрительным восприятиям. Гармонично, то есть находится в соответствии с природой нашего восприятия то, к чему слух или зрение успевают адаптироваться, в частности, явления почти периодические.

Мы можем долго наслаждаться зрелищем морского прибоя, который с каждой волной приносит нечто новое, несходное с предыдущим. Подобным же образом можно отдыхать, глядя на движущиеся механико-оптические картины американских художников, которые напоминают то сменяющиеся солнечные закаты, то пламя костра, то плавление цветных стекол.

Искусство никогда не стояло на месте, не стоит оно и теперь; как наука, оно находит для своих целей новые технические средства.

Фотография и кино достигли высшей степени совершенства. В дополнение к ним сейчас приходит голография, допускающая пространственное изображение, с такой точностью воспроизводящее реальный образ, которое недоступно никакому художнику, применяющему старые методы работы.

Вторжение новой техники вызывает ряд вопросов относительно будущего изобразительных искусств.

Оставляет ли оно что-нибудь на долю живописца и скульптора? Не уничтожает ли искусство?

Ответ на этот вопрос должен быть отрицательным.

Искусство имеет свое инвариантное содержание, не зависящее от тех технических средств и приемов, которыми оно пользуется. Идея и настроение, переданные средствами красоты, останутся навсегда неоспоримым содержанием искусства, способного "жечь сердца людей" или влиять на их душевное состояние.

Современное человечество вступило в эпоху, когда жизненно важные проблемы приобретают планетарный, всеземной характер. Первейшая из них — проблема сохранения природы, обеспечения людей энергией и питанием — необходимые предпосылки для духовного развития человека.

В эту эпоху важнейшая задача искусства — поддержать дух человека, вселить веру в разум. Напомню, что "чело-век" — значит: "разума — сто лет". Человечество, преодолевшее в прошлом великое оледенение Земли, должно преодолеть современное оледенение душ.

Важной задачей является и воспитание эстетического вкуса. Современные ученые-физики, биологи, астрономы, используя имеющиеся в их распоряжении технические средства, видят прекрасные "пейзажи", недоступные невооруженному глазу. Необычайные пейзажи видят и летчики, космонавты, подводники.

Было бы неправильно лишать людей, которые по роду своей профессии не имеют возможности видеть своими глазами "пейзажи из стран науки", доступа к этому новому миру красоты.

Искусство не должно отрываться от науки, получившей в XX столетии великое развитие - в физике, в биологии, в астрофизике. Обе ветви культуры объединяет стремление к открытию нового, ранее невиданного, непонятого или, попросту, незамеченного.

Поэтому поучительно знать, что современная наука использует различные подходы к пониманию природы тех или иных явлений. Приведу пример, относящийся к переднему фронту современной физики - к теории элементарных частиц. Одни физики предпочитают пользоваться методом моделей. Они стремятся построить конкретный образ элементарной частицы, заимствуя его черты из более знакомых и наглядных явлений.

Таким путем шел, например японский физик Саката, предложивший считать нуклоны (протоны, нейтроны, гипероны ...) состоящими из трех "более" элементарных субчастиц. Здесь использовались аналогии из атомной и молекулярной физики, а также из химии.

Другие физики, стремясь понять структуру элементарных частиц, используют абстрактные математические методы, особенно теорию групп. На этом пути удалось прийти к важному выводу, что субчастицы Сакаты должны иметь не целый, а дробный электрический заряд. Сейчас их называют кварками, их существование подтверждается экспериментально.

Эти два подхода к пониманию физических явлений в микромире - конкретный и абстрактный - не противоречат друг другу; ни один разумный теоретик не оспаривает их осмысленности и значимости.

Более того, с течением времени то, что казалось ранее абстрактным и труднодоступным, приобретает новую наглядность, так сказать, наглядность второго порядка, и становится доступным широкому кругу людей.

С эстетической точки зрения можно взглянуть на абстрактную теорию групп (теорию симметрий) как на теорию, дающую основу для глубокого понимания и красоты кристаллов, и красоты орнаментов, и красоты атомного мира, хотя он и ненаблюдаем простым глазом.

Наука не только предоставляет искусству новые технические средства и новые возможности, но и открывает новые сферы видения.

Антиискусство

Искусство так же, как и наука, имеет своего антипода - лжеискусство, которое используется темными силами во вред человеческому обществу. Эта деятельность образует царство антиискусства.

В последние годы в западной музыке, в западной живописи и скульптуре наметилось оригинальничание мерзостью - направление, обреченное на скорую гибель, как противоречащее самому существу искусства.

Принести букет на свадебный праздник дело естественное. Принести исключительный по красоте букет нелегко и непросто.

Гораздо легче достигнуть памятного эффекта, если принести в дар невесте кучу мусора. Некоторые художники сейчас следуют очень похожему пути к славе.

Скорее всего окажется тупиком и авангардистская музыка, грубо нарушающая принцип почти периодичности. Это все равно, что писать картины грязными и негармонирующими красками.

В сопоставлении с авторами авангардистской музыки явно выигрывают те композиторы, которые ищут новое на пути синтеза классической музыки, современного джаза и рок-музыки.

Подобное же авангардистское направление имеет место в живописи и скульптуре, где также стремятся достигнуть эффекта, прибегая к показу безобразного. Например, некто сделал из хорошего материала куб и встал на него сам. Эта композиция и есть якобы новая скульптура. Но где же здесь открытие нового, глубина видения? Это попросту оригинальничание.

С таким "искусством" я познакомился на VI Интернациональной выставке авангардистов в музее Гугенхайма в Нью-Йорке.

Я всматриваюсь в спиральные стены и ничего не вижу. Но где же экспонаты? Поднимаюсь на лифте и пытаюсь обозреть экспозицию сверху. Впечатление не меняется. Пустые ниши, на парапетах разложены черные конторские книги, кое-где лежат веревки, куски железа, кабели... Неужели я попал сюда во время подготовки новой выставки? Однако это не так. Эта удручающая пустота и есть VI Интернациональная выставка. Вот что написано в пояснении: "Неважно, что вы видите на наших стенах; важно то, насколько вы обдумаете ваш путь к новому сознанию".

Быть может, лучше выглядят в нижних затемненных залах черно-белые проекции в натуральную величину пейзажей и ландшафтов: скалы и селения, улицы - да еще некоторые конструкции для интерьеров. Но остальное... Голубой квадрат - "Проект дня"; черный квадрат - "Трудный путь" ...

Или сто черных конторских книг, испещренных цифрами. Белые квадраты с числами месяца марта от I-го до XI-го называются "Сегодня"...

Наконец, совсем пустые стены с записочками, призывающими "Сделаю что-нибудь с другими предметами", "Сделай что-нибудь с комбинацией 2 и 3". "Сделай что-нибудь с собой в пространстве". "Нарисуй что-нибудь на стене!". Я нарисовал: . "Напиши что-нибудь". Я написал: "Меня мама учила не писать на стенах ...".

Меня любезно встречают в кабинете директора, мистера М. Светлое бюро, книги, репродукции, альбомы, красивая секретарша...

Разговор идет об искусстве русском и американском, о выставке.

"Какое впечатление осталось у вас о нашей выставке? - "Я думаю, она не имеет отношения к искусству". - Почему же?" - "Я не вижу там красоты". - "Но вы признаете красоту математических построений и теорий. Они ведь тоже абстрактны. Разве экспонаты нашей выставки не вызывают никаких эмоций?" - "Вызывают. Но если художник вместо 31 квадрата выставил только один, то он вызвал бы ничуть не меньше эмоций. Например, число 18 могло бы навести меня на размышления, связанные с Парижской коммуной и днем рождения одной моей близкой родственницы... При чем здесь искусство? Воздействие такой "картины" носит чисто случайный характер. Ведь любая вещь, помещенная для обозрения, вызывает у зрителя те или иные ассоциации ...". - "Вы, кажется, подходите к сути дела: современный авангардист пытается воздействовать на зрителя средствами, хорошо ему знакомыми. Красочной консервной банкой, отчетной книгой, телефонным звонком, разбитым стаканом..." - "Так что же, если принести сюда гнилое полено и сделать соответствующую подпись, то это уже произведение?" - "Возможно, это будет вашей удачей".

Возвращаясь сейчас к этому любопытному разговору, я вспоминаю слова мистера М. о красоте в математике. Это отличный пример, но он говорит не в пользу настенных календарей и счетоводных книг как произведений искусства. Следует ясно видеть различие между искусством и наукой.

Красоту в математическом построении мы видим после того, как поняли его логическую структуру; видение красоты возникает в результате размышления. В искусстве же, напротив, размышление возникает как следствие прямого восприятия красоты.

Наука и искусство суть средства к познанию жизни, но пути, которыми они доходят до разума и сердца человека, различны и даже противоположны. Спутать эти два способа познания - значит обеднить мир человеческого восприятия. Именно в этом следует видеть коренное заблуждение "авангардизма".

К несуразным явлениям следует также отнести невежественное заигрывание с наукой. Некоторые абстрактные картины поясняются научными терминами, подчас неграмотно употребляемыми. Этим, например,

увлекается испанский художник Сальвадор Дали, который даже рискует считать себя предшественником Эйнштейна.

Бессилие рассказать о себе, о своем видении и понимании мира находит выражение и в таком новейшем направлении в живописи, как "концептуализм". Странники этого направления вообще полагают, что незачем писать и выставлять картины. Достаточно повесить на стене листок с кратким описанием предполагаемой работы; зритель должен сам довообразить ее.

В лучшем случае это просто замена изобразительного искусства плохой литературой.

Все эти направления противоречат природе изобразительных искусств и обречены на гибель. О них будут вспоминать лишь как о попытках на пути оригинальничанья приобрести славу мастеров.

Пути подлинного искусства обойдут эти несуразности.

Но было бы ошибкой думать, что оно останется в плену классических технических средств. Новая техника дает новые средства.

Более того, она уже породила кино и телевидение, сила которых в их массовости. Эта их особенность является вместе с тем и их слабостью. Слабостью, которая легко используется предателями искусства, распространяющими с помощью этих великих достижений науки культ жестокости и насилия, безверия в будущее человечества и в силу его разума.

Отсюда вытекают следующие задачи всех настоящих художников:

- а) бороться против античеловеческого использования искусства;
- б) против его фальсификации;
- в) против лжеискусства.

Закончим наш очерк лаконичным сопоставлением структур науки и искусства:

Наука

Наблюдение - объективное.
Логическое мышление.
Эмоциональное восприятие.

Искусство

Наблюдение - субъективное.
Эмоциональное восприятие.
Логическое мышление.

Но все же эти два вида человеческой деятельности, единые в глубокой древности, взаимопроникают и в наше время.

Они не антиподы, они дополняют друг друга и будут существовать, пока существует род человеческий.



В свободное время.

На лыжной прогулке: А.А.Логонов, Д.И.Блохинцев. ▶



О КВАНТОВЫХ АНСАМБЛЯХ

Я.А.Сморodinский

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Спор о том, что описывает волновая функция — определенную частицу или лишь усредненные свойства некоторого коллектива частиц, начался очень давно. После того, как Борн показал, как надо описывать рассеяние частиц, интерпретация квадрата модуля волновой функции как плотности вероятности и, соответственно, выражения $(\hbar/2m) \text{Im} \psi \nabla \psi^*$ как плотности тока, получила право закона; ни одна задача нерелятивистской квантовой механики не давала формального повода сомневаться в справедливости интерпретации. Описание квантовых явлений с помощью волновой функции и, соответственно, уравнения Шредингера, представлялось физикам исчерпывающе полным.

В таком определении появился новый термин, который надо определить. Это термин "Полнота". Полнота описания для физики состоит, конечно, в том, что аппарат квантовой механики позволяет в принципе предсказать результаты любого "реального" опыта, если заданы "реальные" начальные условия. В последней фразе, к сожалению, опять появился термин, который требует определения. Это слово "Реальный". Реальным для физики будет опыт, который можно реализовать с помощью приборов, которые существуют (или могут быть построены) в физической лаборатории. Однако и это определение нельзя считать последним. Не говоря уже о разных "мысленных экспериментах", которыми физики пользовались в разное время (напомним опыт Галилея с падающими телами, опыт Карно с паровой машиной, опыт Эйнштейна с падающим лифтом), вопрос о том, какие опыты можно будет когда-либо сделать, не столь прост. По-видимому, во всех "реальных" опытах речь идет об использовании макроскопических приборов, т.е. приборов, состоящих из очень большого числа частиц, движение которых описывается уравнениями классической физики (уравнения Ньютона, Эйлера, Максвелла и т.д.).

Результаты измерений на таких приборах подчиняются соотношениям неопределенности и явно носят черты статистики. Определить более точно, что такое макроскопический прибор, трудно, и можно только отме-

тить, что с классических позиций такое описание кажется столь же неполным, как и описание в термодинамике^{x)}. Сомнения в законченности, полноте квантовой механики были четко сформулированы в известной статье Эйнштейна, Розена и Подольского (ЭРП). Ответ Бора (Б) на эту статью содержал другие определения полноты. С тех пор к этому спору периодически вспыхивает интерес, который достиг нового максимума в последние пару лет.

Вопрос сводится к тому, содержит ли волновая функция все сведения о свойствах частицы или системы частиц, которые могут быть измерены различным образом поставленными опытами. Любая система в какой-то момент времени была приготовлена, т.е. отделена от некоторой большей системы. После приготовления система должна, казалось бы, обладать определенной волновой функцией, содержащей всю информацию о ее свойствах. Такова точка зрения ЭРП. Пример, приведенный ЭРП, не удовлетворяет этому критерию. Измерение, проводимое над другой частью системы, отделенной пространственно-подобным интервалом, может изменить информацию самой системы, переводя ее таинственным образом из состояния с заданным импульсом в состояние с заданной координатой. (Подробности анализа лучше прочесть в оригинальной статье^{/1/}).

Возражение Бора сводилось к тому, — и это есть смысл копенгагенской точки зрения, — что волновая функция описывает состояние системы лишь в условиях определенного эксперимента. Описание физической реальности, вне зависимости от условий опыта, лежит вне рамок физической теории^{xx)}.

По-видимому, вопрос о "реальности" волновой функции в конце концов сводится к вопросу о существовании волновой функции в отсутствие наблюдателя.

Попытки найти разумный выход из явно парадоксального положения привели к модели скрытых параметров. В этих попытках статистические свойства измерений квантовой системы сводились к эффектам усреднения "полного" описания по некоторым параметрам, по каким-то причинам

x) Такая аналогия имеет глубокий смысл, отраженный в аналогии между статистической суммой и суммой по путям. Если сказать, что переход одной в другую связан с переходом к мнимому времени, то этим лишь подчеркивается несколько мистический характер аналогии между двумя мирами.

xx) Точка зрения Бора была более радикальной, чем копенгагенская интерпретация. Бор не видел смысла в обсуждении вопроса о том, "реальна" ли волновая функция. Для него достаточно было то, что она позволяла предвидеть все возможные результаты опытов. Для Бора "парадокс" ЭРП лишен смысла.

недоступным для прямого измерения. Многие физики пытались развить интерпретацию, полагая, что результаты квантовой механики могут быть получены на основе теории типа теории броуновского движения, относя причину вероятностного описания к усреднению по "скрытым" переменным. Мы не будем обсуждать более подробно эту точку зрения (ср., например, /2,3/). Вместо этого мы попробуем обсудить ту же проблему, так сказать, с другого конца. Представим себе, что мы принимаем статистическую точку зрения на квантовую механику и примем ее, например, в том виде, в котором она изложена в книге Д.И.Блохинцева, подготовленной к печати его учениками /4/.

Описание квантовой системы с помощью матрицы плотности с самого начала вносит в это описание статистику. Если не накладывать на коэффициенты матрицы плотности никаких ограничений (кроме условия нормировки), то такое описание отличается от традиционного лишь формально. Оно совпадает для "чистых" состояний (для которых $\rho^2 = \rho$). Для описания состояний, в которых это условие неоправедливо, надо вводить произвольные фазы. В этом случае неполнота описания отражена в неопределенных фазах. Но если ограничиться лишь чистыми состояниями, то статистические свойства оказываются глубоко скрытыми. Обычно вопрос ставится так: что описывает волновая функция — отдельную частицу (систему) или некоторый статистический, квантовый ансамбль? Поскольку вероятностные предсказания можно проверить лишь по многократным опытам, то ссылка на ансамбль вполне оправдана.

Вопрос состоит в том, какие свойства у этого ансамбля.

Если мы имеем систему из двух (или более) частиц, которые находятся в каком-то собственном состоянии, и если эта система разделена на две не взаимодействующие части (две частицы разлетелись далеко), то что мы можем сказать о состоянии каждой из этих систем?

В классической механике законы сохранения энергии, момента и т.д. позволяют предсказать свойства одной подсистемы по измерениям, производимым над другой. В квантовой механике разные законы сохранения могут не коммутировать друг с другом, а потому разные измерения над одной подсистемой могут определять значения некомутирующих величин для другой.

Наиболее четко это свойство видно на примере (рассмотренном впервые Д.Бомом), двух рождающихся электронов (или фотонов), находящихся в синглетном состоянии. Полная волновая функция будет симметричной (антисимметричной), а проекция полного спина на любую ось равна нулю. Поэтому, если проекция спина первого электрона на какую-то ось оказалась равной $+1/2$, то мы можем с достоверностью утверждать, что проекция спина второго электрона на ту же ось должна быть равной $-1/2$.

Такой результат вполне соответствует классической модели двух волчков с суммарным моментом, равным нулю, возникающих каким-то образом попарно, с осями, случайно ориентированными в пространстве. Эйлеровы углы, описывающие эту ориентацию, могут служить скрытыми параметрами. В этом случае свойства ансамбля вполне наглядны. Предположим, однако, что измеряются проекции спинов электронов (или поляризации фотонов) по отношению к разным неортогональным осям, так что измерение одной проекции не дает информации о другой. В модели скрытых параметров эту ситуацию можно пытаться описать, задавая разный закон прецессии (неравномерной) волчков. Однако такое описание оказывается невозможным. Белл открыл замечательную теорему, согласно которой невозможно найти такое распределение направлений спинов двух электронов в момент их испускания, чтобы можно было предсказать с достоверностью проекцию спина одного электрона по измеренной любой проекции спина другого. Невозможно поместить всю информацию о корреляции спинов двух электронов (или фотонов) в функцию распределения спинов в начальный момент времени. Это утверждение формулируется в виде неравенства. Если задать четыре оси, то классическая функция корреляции двух спинов, составленная по измерениям по этим осям, удовлетворяет неравенству (для фотонов) $-2 \leq f_2 \leq 2$. (Подробности читатель может найти в литературе /5,6/). Это неравенство не зависит ни от каких предположений о форме взаимодействия, а лишь от предположения о том, что функция распределения неотрицательна, и что она не задает заранее положение осей, а определяет только корреляцию спинов в начальный момент времени.

Расчет по формулам квантовой механики, учитывающий симметрию волновой функции двух фотонов, дает значение, равное $2\sqrt{2}$, если четыре оси выбрать так, что они образуют на плоскости три смежных угла по $22,5^\circ$ (трисекция угла $67,5^\circ$). Это значение подтвердил опыт /7/. Таким образом, корреляционные опыты обнаруживают у ансамбля новое свойство, невозможное в обычных ансамблях. Можно сказать, что у квантового ансамбля плотность распределения вероятности может быть отрицательной /8/, либо что квантовая механика нелокальна.

Четкая форма доказательства неравенства Белла была дана в работе ленинградского математика Цирельсона /8/, которая, к сожалению, осталась неоцененной.

В этом доказательстве рассматривается одно и то же буквенное выражение (без ссылок на механику классическую или квантовую), среднее которого вычисляется, если считать буквы один раз C -числами, а другой — антикоммутирующими матрицами (2×2) ^{x)}. Соответственно среднее ^{x)}

Доказывается, что именно для таких матриц получается наиболее эффективное неравенство.

от корреляции один раз считается как интеграл с плотностью распределения $\rho(\lambda) \gg 0$, а второй — как след с матрицей плотности, элементы которой не обязаны быть неотрицательными.

Измерения в некоторый момент t над одной частью системы (поляризация одной из частиц) может в локальных теориях зависеть от истории этой частицы и никак не может влиять на состояние второй частицы, которое может зависеть только от ее истории. Истории обеих частиц "пересекались" в прошлом, поэтому у них существуют какие-то корреляции (например, суммарный спин). Но эти корреляции описываются числовыми функциями в локальных теориях и операторными в квантовой. Оказывается, что существуют области, где такие функции не могут быть одинаковыми. Подчеркнем, что речь идет не о различии между квантовым и классическим описанием явления — существование квантов и каких-то волновых свойств не ставится под сомнение. Речь идет о возможном полном и притом локальном описании системы, в котором состояние изолированной системы могло бы быть полностью описано волновой функцией, так, чтобы никакие опыты, произведенные в далекой причинно несвязанной области пространства-времени, не могли влиять на объем информации, заключенной в волновой функции. Такое, казалось бы, естественное требование оказывается невыполнимым. Мешает этому два обстоятельства (независимых) — некоммутация матриц и неравенство квадрата полного спина $S(S+1)$ с его максимальной проекцией x .

Любопытно, что нарушение последнего свойства могло бы нарушить квантовое неравенство. Вопрос о том, является ли квантовое неравенство каким-то абсолютным пределом или же существуют какие-то геометрии, в которых вместо $2\sqrt{2}$ стояла бы тройка, не лишен интереса.

Неравенство Белла имеет и практическое значение. Фейнман, например, ¹⁷⁾ обсуждал его в связи с возможностью моделирования квантовых процессов на ЭВМ в условиях, при которых каждая ячейка имеет связь только с несколькими соседями (локальность!). Так, нельзя моделировать процесс рассеяния (корреляции спинов), если всю информацию об одной частице передать на одну ЭВМ, а всю информацию о другой частице — на другую ЭВМ.

Проблемы такого рода встречаются при исследовании классического предела квантовых задач. В этих задачах, кроме стремления квантовых чисел к бесконечности, необходимо еще вводить какой-то фактор, нарушаю-

^{x)} Между прочим, из $S(S+1) = S^2(1 + \frac{1}{S})$ можно заключить, что с ростом спина S эффект падает как $1/S$ (ср. ¹⁹⁾).

щий пространственную или временную (или обе) когерентности. Примером такого рода может служить временная корреляция фотонов в резонансной флуоресценции ("отталкивание" при малых временах).

В итоге дискуссия последних лет показала, что если придерживаться теории квантовых ансамблей, то таким ансамблям надо приписать необычные свойства, которые не могут быть согласованы с обычной теорией вероятности. Эти свойства не проявляются для одной частицы и могут быть обнаружены лишь в корреляционных эффектах. Подобно неевклидовой геометрии, необходимой для описания пространства скоростей в специальной теории относительности, квантовая механика порождает неколомгоровскую теорию вероятности. В этом, по-видимому, и состоит глубокий смысл анализа свойств квантового ансамбля.

Литература

1. Einstein A., Podolsky B., Rosen N. Phys.Rev., 1936, 47, p.7.
(см. Эйнштейн. Собр. научных трудов, 1965, "Наука", М., т.3).
2. Вижье Ж.П. Доклад о парадоксе Эйнштейна-Подольского-Розена. Сборник "Проблемы физики: классика и современность", М., 1982, стр.227.
3. Кашмон Ф. Эйнштейн и толкование квантовой теории, там же, стр.209.
4. Блохинцев Д.И. Квантовая механика, "Наука", М., 1982.
5. Clempner J.F. and Shrinnsny A. Rep.Prog.Phys., 1978, 41, p.1881.
6. Aspect A., Grangiers P., Roger Q. Phys.Rev.Lett., 1982, 49, p.91.
7. Feynman R. Int.Journ.Theor.Phys., 1982, 21, p.467.
8. Cirel'son B.S. Lett.Math.Phys., 1980, 4, p.97.
9. Mermin N.P. and Schwarz G.H. Found.Phys., 1982, 12, p.101.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ЯВЛЕНИЙ,
ПРОИСХОДЯЩИХ НА ГЛУБИННЫХ УРОВНЯХ СОЗНАНИЯ

В.В.Налимов

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Ширина научных интересов Д.И.Блохинцева хорошо известна. Меня сблизила с ним его глубокая заинтересованность в возможности вероятностного описания мира. В какой степени наш мир вероятностен по своей природе? Каково соотношение детерминированного и вероятностного начала? Какова онтология случая? В какой степени справедливо мнение о том, что само представление о вероятности привносится только наблюдателем? Существовали ли культуры, мировоззрение которых было в большей степени вероятностно ориентировано, чем западное?

В этом отношении очень интересной оказывается культура Древней Индии с ее открытостью к вероятностному восприятию реальности, хотя самого понятия "вероятность" в этой культуре не существовало. Передо мной лежит отзыв, написанный Д.И.Блохинцевым 25 января 1979 г. на мою работу "Предтечи кибернетики в философии Древней Индии". Отзыв адресован академику Грузинской ССР В.В.Чавчанидзе. В этом отзыве мы читаем такие слова:

"В своих работах по квантовой механике, особенно в последние годы, я все отчетливее противопоставляю детерминистическое описание физических явлений вероятностному...

Для многих будет откровением тот факт, что философам Древней Индии такой подход был бы более понятен, нежели лапласовский детерминизм, ограниченность которого мы теперь понимаем."

Кажется, этот отзыв был последним из того, что успел написать Дмитрий Иванович.

Сказанное здесь дало мне право предложить для опубликования в этом сборнике мою статью о вероятностном подходе к описанию сознания. Мне кажется, что она написана так, что попадает в резонанс с интересами Д.И.Блохинцева.

Наше сознание опирается на бессознательное, оно все время вырастает из бессознательного и возвращается к нему. Однако узнать что-либо о бессознательном мы можем только посредством сознания. В каждом сознательном действии нашей жизни, особенно в каждом творческом акте нашего духа, нам помогает бессознательное, присутствующее в нас. Чистое сознание ни на что не способно. Сознание подобно гребню волны, вершине над широким и глубоким основанием.

(Ясперс /1/, стр.343)

I. Введение

Всматриваясь в глубины нашего сознания, мы начинаем осознавать, что понимание научной теории, ее разъясняющая сила раскрываются через возникновение образа. Отсюда и искушение говорить об эстетическом начале научных построений /2/. Образ может нас привлекать совпадением с тем, что мы смутно ожидали увидеть — отсюда идущее еще от Платона представление о знании как о воспоминании. Образ может нас поражать целостностью видения множества разрозненных явлений. Наконец, образ может нас удивлять тем, что в нем могут связываться в единое несовместимые, казалось бы, явления или противостоящие друг другу представления.

Наука, особенно физика, научила создавать образы, опираясь на абстрактный язык математики. Высокий уровень абстрактности позволяет оторваться от сковывающей нас системы представлений, навязанной традиционным видением мира. Через абстрактность языка математики раскрывается свобода воображения.

Цель этой работы — построить образ, отображающий природу глубинных, логически не структурированных уровней нашего сознания.

В этой работе не дается определения того, что есть сознание х).

х) В нашей работе /3/ обстоятельно разъяснены все трудности, связанные с попыткой дать определения основным научным терминам. Даже в математике часто приходится отказываться от определения исходных понятий. В теории множеств остается не определенным понятие множества. В теории вероятностей совсем не просто обстоит дело с определением того, что есть случай.

Мы исходим из того, что смысл, имплицитно заложенный в этом понятии, эксплицируется через все многообразие существующих и ранее когда-либо существовавших культур. Под термином *бессознательное* понимаются те глубинные процессы деятельности сознания, которые не могут быть переданы ЭВМ. Мы исходим из априори задаваемого представления о том, что наше сознание двухъярусно — на одном его уровне происходят логически структурируемые процессы, опирающиеся на слова — дискретные носители языка, на другом — раскрываются смыслы, заданные континуально ^{/3/}.

II. Силлогизм Бейеса как основная формула континуальной логики

Представление о семантическом континууме требует некоторого разъяснения. Скажем, прямая линия, нарисованная на бумаге, интуитивно представляется нам непрерывной — в ней мы не видим разрывов. Некоторое представление о непрерывности можно получить, сформулировав следующее утверждение: на континууме для любых двух точек a и b , отвечающих условию $a < b$, всегда можно найти такую точку c , что $a < c < b$. Скажем, если в Большом англо-русском словаре ^{/4/} английское слово *set* объясняется через 1816 русских слов, то эти объясняющие слова нужно рассматривать только как метки, заданные на семантическом континууме. Между двумя сколь угодно близкими по своему смыслу разъясняющими словами всегда можно найти еще хотя бы одну смысловую возможность, которая будет порождена новой фазой, сказанной в какой-то новой ситуации.

Понимание смысла всегда связано с его оценкой в нем. На логически структурированном уровне оценивание производится через рефлексив — последовательное развитие логической мысли. На уровне бессознательного оценивание смысла — это задание на семантическом континууме весовой функции, придающей различные веса разным участкам семантического поля. Весовые функции должны быть сопоставимы. Поэтому приходится вводить нормировку — требовать, чтобы площадь, ограниченная весовой функцией и осью абсцисс, была равна единице. Приняв это ограничение (по существу, это не более, чем обобщение на двумерную ситуацию понятия процента), мы можем говорить уже о распределении вероятностей на семантическом поле. Перед нами возникает представление о вероятностном простран-

стве. Оно оказывается образом, раскрывающим природу глубинных уровней нашего сознания ^{x)}.

Проявление вероятностно заданной семантики осуществляется через хорошо известную в теории вероятностей формулу Бейеса:

$$P(\mu/\gamma) = k \cdot P(\mu) \cdot P(\gamma/\mu).$$

Здесь $P(\mu)$ — априори (до данного — нового опыта) заданная функция распределения вероятностей (точнее — плотность вероятности) на семантическом поле μ ; $P(\gamma/\mu)$ — условная функция распределения, которую мы будем называть фильтром, порождаемая некоторой новой ситуацией γ ; k — константа нормировки; $P(\mu/\gamma)$ — апостериорная функция распределения, возникающая после мультипликативного взаимодействия предыдущего знания со знанием, порожденным новой ситуацией.

Формула Бейеса отвечает всем требованиям силлогистики: из двух высказываний $P(\mu)$ и $P(\gamma/\mu)$ о необходимости вытекает третье — $P(\mu/\gamma)$, обладающее той же структурой, что и первые два. Таким образом, мы можем говорить о бейесовском силлогизме, противопоставляя его категорическому силлогизму Аристотеля. В нашем случае, в отличие от классического силлогизма,

^{x)} Введенное А.Н. Колмогоровым представление о вероятностном пространстве, строго говоря, опирается на три понятия: непустое множество Ω ; класс μ подмножеств множества Ω , отвечающих определенным требованиям; вероятностная мера P (распределение), заданная на μ . Требования выбраны так, что элементарные операции над элементами множества μ не выводят за его пределы — это важно для понимания текстов, содержащих вероятностные суждения. Вероятностная мера — абстрактное понятие, часто интерпретируемое как частота появления случайного события. Но возможна и другая, более общая интерпретация — представление о вероятностной мере как о мере размытости множества μ . Такое представление предусматривает существование субъекта, дающего оценку множеству. Само по себе множество не может быть размытым или неразмытым. Оно просто есть. Размытость — это свойство, приписываемое ему наблюдателем. Можно говорить о вероятности как о мере предпочтения для ценностных представлений, упорядоченных на шкале μ , или как о мере потенциальной возможности раскрытия феномена, который предстает перед нами в спонтанности своего проявления.

как обе исходные посылки, так и вытекающий из них вывод является семантически размытыми^{x)}; исходные посылки у нас не являются категорическими (независимыми от обстоятельств) — посылка $P(y/\mu)$ во всяком случае определяется некоторой частной ситуацией y : если в силлогизме Аристотеля две исходные посылки связаны одним так называемым средним термином, то в силлогизме Бейеса все три высказывания делаются на одном и том же семантическом поле μ . Напомним, что сам Аристотель определял силлогизм следующим образом:

... силлогизм же есть речь, в которой если нечто предложено, то с необходимостью вытекает нечто отличное от положенного в силу того, что положенное есть.

(Первая Аналитика, гл. I, 15-20) /5/

Бейесовская речь так и устроена, что из предположенного $P(\mu)$ с необходимостью вытекает нечто отличное от $P(\mu)$ именно в силу того, что $P(\mu)$ было предположено. Мы можем говорить о том, что задание вероятностной меры на семантическом поле открывает возможность для создания континуальной логики, порождающей с необходимостью размытие на континууме, вероятно взвешенные утверждения из размытых посылок.

Сказанное выше оказывается правомерным только в том случае, если мы силлогизм Бейеса будем использовать лишь как символическую формулу, не пытаясь обращаться к числовым оценкам параметров для входящих в нее функций распределения. Дело в том, что метрика семантического пространства для нас остается неизвестной. Метрика сама по себе аморфна, она не является собственно свойством пространства. При использовании геометрических представлений в задачах описания мира метрические представления приходится вводить извне, опираясь на конвенцию или на какие-либо дополнительные соображения физического характера (как, скажем, в общей теории относительности). Мы готовы допустить, что метрика семантического пространства задана в сознании, но не зная того, как она задана, мы оказываемся вынужденными использовать теоретико-вероятностные представления качественно.

x) Размытость оказывается синонимом случайности, ибо, согласно существующему определению, случайная величина μ считается заданной, если на μ задана функция распределения вероятностей.

Здесь уместна аналогия с качественной теорией дифференциальных уравнений^{x)}.

Развиваемое нами представление о континуальной логике имплицитно содержит ряд предпосылок, которые могут быть эксплицированы следующим образом:

I. Признается существование семантического поля как некой самостоятельной реальности, через которую сознание человека взаимодействует само с собой и с сознанием других людей. В плане историческом неоднократно делались попытки введения представления о психологических полях: у Динга — коллективное бессознательное, у Джемса — потоки сознания, у Бэка — космическое сознание, у Бергсона — интуиция, у Гуссерля — трансцендентная феноменология, у Уйтхеда — категория вечных объектов, у Поппера — мир интеллигибелей, у Ассаджоли — субъективность. В наши дни представление об открытом психологическом пространстве развивает Уелвуд^{/6/}. Уилбер^{/7/} также по существу говорит о психологических пространствах, когда рассматривает развитие сознания как раскрытие его различных уровней. Само название одного из новых направлений психологии — трансперсональная психология^{xx)} — свидетельствует о том, что некоторые ученые готовы признать трансперсональную реальность. Но это направление все же носит только

x) Качественная теория дифференциальных уравнений — это математическая дисциплина, изучающая свойства обыкновенных дифференциальных уравнений без нахождения самих решений. Решения могут рассматриваться как кривые в соответствующих пространствах. Так, скажем, можно изучать вопрос о сохранении периодичности решений во всей области задания уравнений.

xx) Это направление локализуется в Transpersonal Institute, подразделениями которого являются: Association for Transpersonal Psychology (Stanford, California) и The Journal of Transpersonal Psychology, издающийся с 1969 г. Отметим, что публикации этого журнала опираются на библиографию, состоящую из 883 книг и 911 статей.

аппендиксный характер. Основная линия развития психологии исключает представление о психологическом пространстве как о самостоятельной реальности. Если проводить сравнение с физикой, то психология находится на уровне ньютоновских представлений, согласно которым частицы материи находились в абстрактном (лишенном поля) пространстве — им было разрешено лишь дальное действие. Бихевиоризм и возник именно потому, что признавалась реальность только одного пространства — пространства физического действия. Соответственно изучается не само сознание, а действие (поведение — behaviour), являющееся откликом на стимул в определенной ситуации.

2. Представление о психологическом пространстве как о пространстве вероятностном дает возможность описывать мир психического через диалектику противостояния континуальному дискретному (функция распределения, определяющая меру, заданную на семантическом поле, дискретна, она определяется одним или несколькими параметрами). Иными словами, мы обращаемся к двум д о п о л н я в щ и м друг друга языковым началам — дискретному и континуальному.

3. Описание сознания происходит вне категорий пространства действия и времени. Физическое пространство и время не являются аргументами тех функций распределения вероятностей, через которые мы строим образ сознания. Здесь уместна аналогия с компьютерами. Они функционируют во времени и пространстве — их деятельность проявляется через движение. Но продукт их деятельности, скажем, доказанные теоремы, не раскрывается через те конкретные, упорядочивающие мир пространственно-временные представления, на которые опирается физика. Формальная логика, как и семантика, оказывается вневременной реальностью.

4. Отказ от обращения к пространству и времени снимает с рассмотрения причинно-следственные связи и открывает возможность для видения мира в спонтанности его проявления. Фильтр $P(y/\mu)$, отвечающий некоторой ситуации y , возникает спонтанно ^{x)}. Мы

x) В философии часто случайность противопоставляет необходимости. Но еще Борн обратил внимание на то, что уравнение Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi$$

включает в себя как необходимость, так и случайность: квадрат модуля Ψ — функции есть функция распределения вероятностей нахождения микрообъекта в пространстве в фиксированный момент времени. Она сама изменяется в соответствии с написанным выше уравнением, как это положено для детерминированных явлений. Такое поведение для Ψ — функции оказывается возможным, поскольку ее аргументами являются координаты пространства и времени.

переходим от привычного для Запада представления о З а к о н е к восточному (китайскому) представлению о Д а о — принципу спонтанности ^{8/}.

III. Вероятностно очерчиваемый образ бессознательного

Опираясь на описанную выше логику континуальной семантики, мы можем набросать образ бессознательного. Организующим началом этого образа оказывается свобода. Свобода находится вне причинно-следственного ряда событий. Свобода — это спонтанность поведения. С п о н т а н н о с т ь — это синоним бессознательного. Бессознательное раскрывается через раскрытие спонтанности, природа которой носит вероятностный характер.

I. С в о б о д а в о л и — мучительная проблема для западной мысли. Она не могла быть решена на логически структурированном уровне сознания. Свобода воли — это спонтанность поведения, ограниченная в то же время в какой-то степени прежним состоянием сознания. Будем считать, что состояние сознания определяется функцией $P(\mu)$, задающей взвешенность ценностных представлений на шкале μ . Функция $P(\mu)$ задается культурой, в которой живет человек, его образованием и воспитанием — словом, всем тем, что создает личностную семантику. Это — судьбинная составляющая человека. Появляется новая проблема ψ . Она спонтанно порождает фильтр $P(y/\mu)$, отвечающий новой ситуации. Происходит переоценка ценностей в соответствии с силлогизмом Бейеса, возникает новое вероятностное взвешивание ценностных представлений $P(\mu/y)$. Свобода выступает перед нами как мультипликативное смешивание предначертанного (судьбинного) начала с собственно свободой выбора — спонтанным началом.

2. Н и р в а н а — одно из труднейших, для западной мысли, восточных понятий. Устремленность к нирване — это стремление к сглаживанию кармически заданной селективности в системе ценностных представлений. Нирвана достигается, когда $P(\mu)$ вырождается в неусеченное (устремляющееся в бесконечность) равномерное распределение. При этом в силу условия нормировки отрезок, отсекаемый по оси ординат прямой, задающей это распределение, будет стремиться к нулю. Строго говоря, само представление о функции распределения $P(\mu)$ теряет свой смысл, и порождение любой фильтрующей функции $P(y/\mu)$ становится просто никчемной задачей. Индивидуальность умирает естественной смертью. Она превращается в ничто или во всё, если всё не имеет селективной проявленности (лишено привязанности, выраженной в предпочтении). Так представление о нирване осмысливается на вероятностном языке.

3. **Парадоксальность** о воободн. Для человека, находящегося в состоянии абсолютной свободы, теряет смысл само понятие о воободн. Какой смысл говорить о свободе выбора фильтра $P(y/\mu)$, если функция $P(\mu)$ вырождается в равномерное распределение с ординатой, стремящейся к нулю? Деидеологизированный, или, как говорят сейчас некоторые западные социологи, "голый человек" будет находиться вне культуры → он не будет понимать ее текстов, не сможет в ней действовать.

4. **Три модуса** в р е м е н и : Прошлое, Настоящее, Будущее. Будем считать, что $P(\mu)$ — ценностная ориентация, порожденная нашим Прошлым; $P(y/\mu)$ — вопрос, обращенный из Будущего к Прошлому в связи с возникающей в Настоящем проблемой y ;

$P(\mu/y)$ — ответ, раскрывающий вновь возникшую ценностную ориентацию. Свободная воля осуществляет выбор из Будущего, существующего только в нереализованной потенциалности многообразия. Будущее приобретает возможность воздействовать на Настоящее через изменение тяготеемого над ним Прошлого. Мы можем говорить о "с е й ч а с н о м" существовании Прошлого и Будущего, ибо в Настоящем Прошлое свергивается по Будущему. Будущее перед нами выступает и как то этическое начало, через которое оценивается Прошлое. Сказанное здесь удивительным образом переключается с высказываниями о целостности времени у Хайдеггера^{19/}. Для него Прошлое — это не то, чего уже нет, оно постоянно присутствует в Настоящем и определяет собой как Настоящее, так и Будущее. Модус Будущего у Хайдеггера — это "забегание вперед", именно сосредоточенность на Будущем дает "здесь быти^{20/}" подлинность существования.

5. **Прогноз**. Человек всегда прогнозирует. Он прогнозирует и в текущей повседневности жизни, и в широкой перспективе — поступая учиться, вступая в брак, выбирая работу, взаимодействуя с жизнью общества. Прогноз — это опять-таки заглядывание в Будущее через свободное порождение фильтра предпочтения $P(y/\mu)$, позволяющего сделать переоценку ценностных представлений, исходя из новой ситуации y . Пример: русский полководец Кутузов принимает решение оставить Москву. Мог ли он — дворянин и патриот — принять такое решение, опираясь на те ценностные представления, в которых протекала вся его прежняя жизнь? Только вся острота и необычность новой ситуации y могла породить фильтр $P(y/\mu)$, радикально изменяющий отношение ко всем социальным ценностям. В прогнозе, осуществляемом человеком, всегда присутствует спонтанность выбора фильтра. Такой прогноз принципиально не формализуем — в нем Будущее не выводится логически из Прошлого.

6. **Творчество** обычно принято объяснять через представление об о з а р е н и и . Этот образ легко схватывается, но он нуждается в дальнейшем раскрытии. В нашей системе представлений озарение отождествляется со спонтанностью появления фильтра $P(y/\mu)$, возникающего при решении проблемы y . Вспомним здесь книгу Адамара^{10/}, посвященную творчеству математиков. Там говорится о том, что математики в своем творческом процессе не обращаются ни к математическим символам, ни к словам обиденного языка. Что может происходить в сознании человека на таком немом уровне — только переоценка размытых по своей структуре непоименованных ценностных представлений. И лишь вслед за этим происходит изменение концепций на логически структурированном уровне сознания. Творчество всегда включает два момента — собственно озарение, связанное с открытостью сознания спонтанности его проявлений, и логическое осмысливание озарения, требующее высокой интеллектуальной мощи. Видимо, не часто сочетаются эти две способности, и трагичен жизненный путь тех, кто обладает только одной из них. Но как бы то ни было, а творческий процесс — это всегда интеллектуальный бунт, он разрушает старье, парадигматически признанные ценностные установки, заданные как $P(\mu)$ ^{11/}.

7. **Понимание** текста — это всегда творческий процесс, ибо понимание всегда сопровождается порождением индивидуального фильтра $P(y/\mu)$, через который воспринимается вероятностно взвешенная семантика $P(\mu)$, стоящая за текстом. Мы никогда не понимаем полностью друг друга (если мы не являемся духовными близнецами) и часто не понимаем самого себя — один и тот же текст, прочитываемый в разные периоды жизни, может сопровождаться появлением различных фильтров понимания. Можно поставить вопрос: был ли Лисенко дарвинистом? Наш ответ на этот вопрос будет положительным. Теория Дарвина не построена как исчисление. Она основана на некоторых размытых (никогда четко не определяемых) понятиях, которым придается различная степень значимости. К восприятию теории эволюции Дарвина Лисенко подошел с каких-то своих, глубоко личных позиций. Его фильтр предпочтения оказался таким, что основная масса плотности вероятностей функции $P(y/\mu)$ попадала на хвостовую часть функции распределения $P(\mu)$, определившей построения самого Дарвина^{х)}. Так получился

х) Здесь мы, естественно, исходим из предположения о том, что имеем дело с неусеченными функциями распределения вероятностей, асимптотически приближающимися к оси абсцисс. Правда, опыт истории показывает, что эпитоны, боясь утратить целостность учения в его естественном стремлении к размытию, могут потребовать, чтобы функция распределения вероятностей стала усеченной. И тогда учение попадает в потенциальную

лсенковский вариант дарвинизма. А если мы обратимся к такому учению, как христианство, то увидим, что за 2000 лет его существования образовалось столь много организационно оформившихся вариантов прочтения его первоисточников, что их трудно как-то разумно классифицировать и кодифицировать. Среди них есть и такие странные формы понимания христианства, как, скажем, секта скопцов. Легко видеть, что только совсем узкие — иглоподобные фильтры пропускания могли породить такие своеобразные формы прочтения основных — многогранных по своей семантике текстов. Впрочем, и мусульманство можно рассматривать как одну из форм прочтения христианства.

8. Эволюция культуры можно рассматривать как нескончаемое изменение ее базовых ценностных представлений. На глубинных уровнях коллективного сознания происходит взаимодействие двух текстов. В критические моменты истории появляется некий совсем новый текст $P(y/\mu)$, который должен трансформироваться в результате мультипликативного взаимодействия с ранее существовавшим текстом $P(\mu)$, который мы теперь будем называть фильтром. Эволюция — это серия последовательных переходов типа $P_0(\mu) \rightarrow P_0(\mu/y) \rightarrow P_1(\mu) \rightarrow P_1(\mu/y) \dots$, т.е. апостериорная функция распределения на последующем этапе становится априорной, т.е. превращается в новый, слегка облегченный (для восприятия нового текста) фильтр. Изменяется в процессе эволюции не исходный текст, а фильтр. Так было, скажем, в христианском мире — его исходный текст оставался неизменным, несмотря на весь драматизм его идейного развития. Мы, наконец, получаем ответ на поставленный Ясперсом ^{/1/} вопрос о том, какие возможности для современного развития таит в себе прошлая история. Становится понятной общность культурного развития: истоки современной (великой, как говорит Ясперс) культуры возникли примерно в одно и то же время (800-200 лет до нашей эры) и на длинной (хотя и узкой) полосе, тянущейся от Европы через

яму. Перед нами возникает мифический образ лбующего собой Нарцисса, обреченного богами стать цветком. Термин нарциссизм вошел в психиатрию. Но можно говорить не только о личном, но и о социальном проявлении нарциссизма. Вспомним здесь о православии, застывшем на века в неподвижности своего восхищения самим собой (литургии православия действительно прекрасны). Экуменизм — это движение, направленное на то, чтобы возродить неуслеченность ценностных представлений в религиозной жизни.

Северную Африку, Переднюю Азию до Индии и Китая, — не было ли все это воздействием одного и того же нового текста $P(y/\mu)$ на различные фильтры $P(\mu)$? Новый смысл для нас приобретает представление о ренессансе: тексты, выполнявшие роль фильтров, гибнут, когда теряют свою эволюционную гибкость, превращаясь в тупиковые формы — ихтиозавров культуры; мысль возвращается к прежним исходным ценностным представлениям. Новый путь эволюционного развития иногда, правда, позволяет вернуться к отброшенному — развитие математической логики вызвало новый интерес к схоластике, развитие представлений о бессознательном — интерес к алхимии ^{/12/}. И наконец, последнее — концепция многообразия эволюционирующих фильтров скорее, чем представление о последовательном логическом развитии идеи, позволяет нам примириться с тем удивительным фактом, что именно в христианском мире получили самостоятельное развитие такие разнородные явления, как, скажем, инквизиция и наука, позитивизм и экзистенциализм, капитализм и социализм... Мы не обсуждаем здесь вопроса о том, как возникают новые тексты — ведь физики также отказываются от обсуждения вопроса о происхождении фундаментальных физических констант, численные значения которых оказываются критическими для возможности существования нашего мира ^{/13/}.

9. Вероятностно взвешиваемое смятение противоречий. У истоков западной культуры стояли, казалось бы, взаимно абсолютно несовместимые тексты — Библия и труды Аристотеля. Библия выступала как текст, задавший основные ценностные представления культуры. Ее текст представлен в размытой системе суждений. Всякая попытка их логического осмысления немедленно показывает, что они могут находиться друг к другу в отношении противоположности, хотя мысль Аристотеля, воспринятая в том числе и церковью (Августин, Фома Аквинский), требовала, чтобы развитие основополагающего текста опиралось на формальную логику.

Неоднократно делались попытки дать завершенное и компактное изложение если не всей Библии, то хотя бы ее части. В ^{/14/} упоминается об одной такой попытке, сделанной в Англии Самуэлем Кларком в начале XVII века. Изучая проблему троичности, он выписал 880 относящихся сюда различных текстов из Нового Завета под разными заголовками и попытался дать доктринальную импликацию того откровения, которое явно содержится в Священном писании. Естественно, что эта попытка была осуждена.

Кларк был эффективно наказан государственной церковью хотя бы тем, что ему так никогда и не дали епископата, и его судьба оказалась предупреждающим рассказом об опасности в употреблении Библии для установления истинной христианской веры! ^{/14/} (стр. 148).

Мы могли бы неудачу поучительной попытки Кларка объяснить иначе: невозможно доктринально имплицировать многообразие основополагающих высказываний, посвященных одной и той же теме, так как нельзя их брать с одним и тем же весом или с весами, независимыми от той ситуации, с которой мы эти высказывания готовы соотносить.

Флоренский, как бы предчувствуя теорему Гёделя, писал в своей философско-богословской работе /15/ :

"Для рассудка истина есть противоречие, и это противоречие делается явным, лишь только истина получает словесную формулировку.... Другими словами, истина есть а н т и н о м и я , и не может не быть таковой". (стр.147)

"Книга Иова" вся состоит из этого уплотненного переживания противоречия, вся она построена на идее антиномичности". (стр.157)

Вся церковная служба, особенно же каноны и стихиры, переполнены этими непрестанно кипящими остроумием антистетических сопоставлений и антиномических утверждений. Противоречие! Оно всегда тайна души — тайна молитвы и любви. Чем ближе к богу, тем отчетливее противоречие". (стр.158)

Спрашивается, откуда могла взяться дееспособность культуры, если она была погружена в ситуацию, где любое серьезное высказывание могло быть как доказано, так и опровергнуто? Оказывается, сглаживающее влияние здесь оказывала байесовская логика, предшествующая построениям текстов в аристотелевой логике. Функция распределения $P(\mu)$ может придавать одинаковые вероятности тем двум участкам шкалы ценностных представлений, которые находятся в отношении противоположности — это не обязательно поведет к аморфности в вытекающих отсюда высказываниях, поскольку фильтр $P(y/\mu)$ может привести к радикальному перераспределению весов. В результате европейская мысль всегда выглядела как двухслойный пирог. На поверхности находились общепринятые и официально одобренные представления, в глубине теплились мысли, готовые со взрывом выйти на поверхность. Европейская культура — это культура революций.

10. ЭГО человека как вероятностно заданная проявленность семантического поля. Можно говорить о том, что духовная индивидуальность человека задается функцией распределения вероятностей $P(\mu)$ над семантическим полем μ , общим всем людям. Функция распределения может быть иглоподобной или размытой, иногда асимметричной —

этим определяются типы людей. В процессе жизни функции распределения вероятностей все время меняются или хотя бы слегка флуктуируют относительно центра рассеяния. Жесткое осознание своего ЭГО, задаваемого иглоподобной функцией распределения, может приводить к тому, что человек будет ощущать "малые смерти при переходе от одного момента к другому". Отсюда и представление о черных дырах в психопатологии, психологическое состояние боязни жизни и смерти (подробнее см. /16/). Семантическое поле, вероятностную проявленность которого мы связываем с ЭГО человека, в каком-то подавленном состоянии сохраняет воспоминание обо всем предисторическом прошлом. Возвращение в далекое прошлое, связанное с аномальным перераспределением функции распределения вероятностей, часто интерпретируется как психическое заболевание. Некоторые западные психиатры (см., например, /17/) соглашались с представлениями мистически настроенных авторов прошлого (скажем, Сведенборга — см. /18/) в трактовке части психических заболеваний как овладения так называемыми астральными силами — "пленение демонами". Не оказываются ли эти явления только кажущимися — может быть, это результат такого распада личности, когда функция распределения вероятностей смещается так далеко, что человек оказывается во власти своего необязательно далекого прошлого. Может быть, весь астральный мир существует не отдельно, а соприсуд (с ничтожно малыми вероятностями) каждому человеку как его далекое эволюционное прошлое? А всё эволюционное будущее — не заложено ли оно в настоящем человеке, сейчас лишь с ничтожно малыми вероятностями?

11. Многомерность семантического пространства. Желая углубить наше представление о природе человека, мы можем ввести в рассмотрение многомерность семантического поля. Скажем, в двумерном пространстве ЭГО человека становится функцией распределения двух случайных величин — $P(\mu_1, \mu_2)$. Личность оказывается состоящей из двойниковой пары μ_1 и μ_2 , связанной коэффициентом корреляции ρ . Если $\rho = 0$, то мы имеем дело с патологической — абсолютно неупорядоченной расщепленностью личности. Когда $\rho = -1$, то двумерное распределение вырождается в одномерное — человек продолжает существовать в своей нерасчлененности. Все в нем метрически взвешено и отмерено, но ничто неразличимо, оставаясь в жесткой упорядоченности, которая в случае $\rho = -1$ соединяет противостоящее. Мы ценим писателей по разносторонности характеров их героев. Но вот, скажем, у Достоевского — как бы ни были разнообразны действующие лица его романов, в них мы всегда узнаем

самого автора. Он выступает перед нами как личность, существовавшая в семантическом пространстве весьма высокой размерности. Многие поэты (Гёльдерлин, А.Блок, Н.Гумилев, Д.Андреев) сообщают нам о своей глубокой сопричастности культурам прошлого, которую они переживают как часть своего настоящего существования. Опять раздвоение личности. Расширение границ личности, происходящее при направленном соприкосновении с бессознательным, обычно сопровождается персонализацией своих двойников — Днг описывает это, опираясь на свой личный опыт /19/. В этом отношении интересна религиозно-мистическая литература: монах-аскет, стремящийся преобразовать свое ЭГО в соответствии с некоторым идеальным образом, расчленил свое сознание, порождая двойниковую пару, в которой идеальному облику личности противостоял искушающий — бесовский двойник.

Двумерность сознания всегда проявляется как дуальное осознание самого себя. Такое состояние сознания может иметь место в сновидениях:

Эта одновременность, или "двойное осознание" ЭГО и его сновиденческого состояния в психологии известна как "просветленное сновидчество" ("lucid dreaming"). Просветленное сновидчество — это такое состояние, в котором сновидец осознает то, что видит сновидение, и что это переживание отлично от обычного опыта активной жизни. (/20/, стр.20)

Питерс /20/ отмечает, что такое двойное осознание может быть достигнуто в шаманском трансе:

"... он (шаман) говорил, что он в состоянии транса сохраняет осведомленность о себе как об участнике ритуала, и в то же время оказывается вовлеченным в другой мир, не видимый другими!" (стр.20).

Если бы шаман в состоянии транса не достигал двойной осведомленности, то для описания его состояния достаточно было бы представления об одномерности семантического поля, по которому смещается функция распределения $P(\mu)$, задающая его ЭГО. Представление о корреляционно связанном двойнике нашло свое выражение в образе андрогина — различные раскрытия этого образа мы находим, кажется, во всех развитых мифологиях мира ^{x)} /21/. Тантризм в ти-

x) Вот отдельные примеры: ... в греческой мифологии Хаос и Эрбис были нейтральны, Зевс и Геракл часто одеты, как женщина; На Кипре есть бородатая Афродита; Дионисий имел женские черты; в Китае бог ночи и дня — андрогин, и совершенство андрогина представлено также в символе ян-инь, и через ян-инь "Духовно обогащенные существа":

бетском буддизме был направлен на слияние двух через акт интимной близости. И, наконец, трехмерность: один — в троичности. Раскрытие символа триединства мы также находим в мифологии всех культур (подробнее об этом см. в /21/). В христианстве этот символ приобрел доминирующее значение. Можно поставить вопрос: какова предельная размерность семантического пространства? Не имея возможности указать конечное граничное число, мы здесь вынуждены перейти к рассмотрению бесконечных множеств. Перенумеруем рядом натуральных чисел координатные оси этого пространства и будем допускать возможность их различной семантической нагруженности. Рассмотрим все возможные пространства этого множества осей. Каждое такое подмножество создает личность (или гиперличность) определенного облика. Множество таких личностей будет обладать мощностью континуума (напомним, что континуум — это мощность подмножеств всех натуральных чисел). Перед нами возникает образ возможных решеток семантических пространств, образ, выходящий за границы обыденных представлений. Образ многогранный — он отражает и наше представление о предельной реальности, и представление об иллюзорности личности, так же, как впрочем, и представление о ее сопричастности целому. Биосферу — мир живого — можно также рассматривать как вероятностно заданную проявленность одной из осей этого пространства ^{x)}. Всматриваясь во внешний — физический мир, мы упорно ищем в нем порядок,

Дракон, Феникс и Ku-lin могли быть ян, инь или тем и другим вместе. В индуизме существует шакта-шакти, и некоторые божества, например, Шива, изображаются физически полумужчиной-полуженщиной. Шаманизм и церемонии посвящения использовали трансвестизм; Баал и Астар были андрогинами, и у Платона в "Пире" человек был первоначально двуполым. (/21/, стр.12).

x) Ранее, в работах /22,23/, было развито представление о том, что таксоны организмов — не дискретные совокупности, определяемые устойчивым перечнем признаков, а функции распределения вероятностей, заданные на множестве континуума признаков. И тогда эволюция таксонов выступает перед нами как перераспределение вероятностей. Механизм биологической эволюции оказывается возможным описывать бейсовским силлогизмом так же, как ранее мы это делали, рассматривая эволюцию культуры (см. п.8 этого параграфа). Эволюция раскрывается в глобальности своего проявления.

гармонию, ритм. Он выступает перед нами как текст. Не является ли этот текст проявленностью одной из пространственных решеток семантического поля? Но что мы знаем о связи физического мира и сознания /24/ ?

Представление о взаимодействии сознания с физическим миром столь слабо разработано, что здесь не просто сформулировать даже проблемы. Хотя три из них схематично все же могут быть поставлены.

Первая: Взаимодействие логики с таким физическим устройством, как компьютер, возможно только потому, что сам компьютер есть продукт человеческого сознания. Отсюда вопрос: как возможно взаимодействие семантического мира с мозгом человека, если это физическое устройство возникло вне какой-либо семантики?

Вторая: Случайность в квантовой механике носит столь фундаментальный характер, что надо искать или пресловутые скрытые параметры, или говорить о наличии у частиц каких-то рудиментарных форм сознания.

Третья: Не следует ли из неймановской интерпретации квантовой механики необходимость признания некоего сознания, способного изменять скачкообразно вероятность реализации тех или иных событий?

Речь идет об эксперименте, в котором энергия и импульс частицы изменятся, когда она движется от источника к приемнику, проходя через отверстие в сфере, окружающей источник. По дороге частица не испытывает никакого взаимодействия с полем или другими частицами. Происходит, если хотите, осознание того факта, что частица проходит через отверстие /25/. Все сказанное здесь требует, правда, более серьезно го обсуждения x).

IV. Целостность мира и противостояние ей

В одном мгновеньи видеть вечность,
Огромный мир — в зерне песка,
В едином вздохе — бесконечность,
И небо — в чашечке цветка.

(Уильям Блейк - Из песен о
Чистоте (перевод С.Я.Маршака))

I. Развитие западноевропейской культуры можно рассматривать как раскрытие библейского мифа о "Грехопадении". Вкусить от "древа познания добра и зла" — это задать вопрос, направленный на разделение

x) Обратим здесь внимание на недавно появившуюся обстоятельную работу Стэнпа /26/. В ней дается нетривиальное раскрытие дихотомии:

единого на части. Дихотомическая пара: добро - зло превратилась в символ поведения, начертанный на флаге европейской культуры. Но, разбивая семантический континуум на два подмножества, нужно задать точку разбивания. Такая точка может быть по произволу отнесена как к одному, так и к другому подмножеству: она является верхней границей одного из них и нижней границей другого (аксиома непрерывности Дедекинда — см. /27/). Так и получалось при дихотомическом разбивании на добро и зло, истину и ложь, идеализм и материализм. Трудность возникала с точкой разбивания — ее соотнесение с той или иной из разделенных частей пугало все рассуждения: если семантические поля двух понятий имеют хотя бы одну общую точку, то к ним становится неприменимым закон исключенного третьего, без которого мы не можем обходиться в наших логических построениях. Желая рафинировать свои воззрения, западный мыслитель неизменно стремился к дальнейшему концептуальному размежеванию со своим противником. Но всякая не-дидалектическая концептуализация связана с попыткой разбить семантическое поле на замкнутые подмножества так, чтобы отвечающие им понятия могли бы быть противопоставлены. На самом деле, в результате этих усилий порождались лишь новые и новые общие точки x), что отнюдь не усиливало, а только ослабляло позиции. Всякое рафинирование оказывалось направленным на самоуничтожение, и здесь положение дела "спасла" Власть — зажигались костры под еретиками. И в то же время мы должны признать, что стремление к дихотомическому противостоянию идей энергетизировало культуру и придавало западной истории особую динамичность. Дальний Восток пытался противостоять дихотомическому видению мира, и это лишило его истории динамичности. Словами Ясперса /1/ эту мысль можно выразить так:

Издrevле принято считать, будто Китай и Индия, в отличие от Запада, не имели подлинной истории. Ибо история означает движение, изменение сущности, зачатки нового.

Только через противостояние целостности, находящей свое воплощение в семантическом континууме, происходит раскрытие мира.

сознание — материя в ракурсе, заданном проблемами квантовой механики и теории относительности.

x) Здесь мы опираемся на теорему Серпиньского, которая формулируется так: никакой континуум нельзя разложить в объединение счетного семейства непересекающихся замкнутых множеств. В то же время мы знаем, что объединение двух континуумов, имеющих общую точку, есть континуум /27/ .

2. Ритм Вселенной — литургия мира. Ритм раскрытия идей. Цикличность смены культур. Если мы готовы признать сингулярность в космологических решениях эйнштейновских уравнений гравитации как особое состояние мира, когда бесконечными становятся плотность материи и кривизна пространства, время и вся материя оказываются свернутыми в сверхгорячую точку, то в мире семантическом в дни коллапсирования культур континуум идей начинает представляться свернутым в сингулярную точку (в теории множеств точка — вырожденный континуум). Функция распределения вероятностей ценностных представлений, заданная над полем, свернутым в точку, стягивается в прямую, создавая для плотности вероятностей (в силу условий нормировки) бесконечный всплеск единичной интенсивности (здесь мы имеем дело, как сказали бы физики, с δ -функцией Дирака). Бесконечно дорогой становится нераскрытая потенциалность, в которую свернулось все прошлое и будущее. Точка становится бесконечно горячей, готовясь к новому взрыву — раскрытию через возникновение нового семантического пространства.

Сказанному выше надо дать предметную интерпретацию. Нам представляется, что различные культуры мира, будучи приведены в тесный контакт, оказываются в состоянии, которое ассоциируется с тем, что в современной космогонии принято называть "большим взрывом", и, таким образом, в силу той же аналогии, может возникнуть суперновая культура, которая должна привести к новому началу — новой культурной Вселенной. Представляется очевидным, что логика, направленная на построение концепций, ограничена до тех пор, пока она касается динамики, а не кинетики изменения культуры, поэтому она не может служить средством предвидения. Только поэзия и математика способны осветить контуры миров, и обе они — в нашем каноне — происходят из бессознательного!

Математические построения так же, как и образы в поэзии, оказываются теми символами, которым мы готовы придавать различные, подчас совсем неожиданные предметные интерпретации, обогащая тем самым наше представление о мире. Сравнительно недавно физикам стало понятно, что геометрия во всем многообразии ее математического понимания оказывается тем символом, через который раскрывается физика мира. Знаменитым стал лозунг "Физика есть геометрия", выдвинутый известным физиком Дж.А.Уилером (см. /28/). Если признать развиваемые нами представления правомерными, то придется признать, что и понимание сознания также раскрывается через геометрию. Но тут перед нами возникает вопрос: как вообще математика может быть использована в расширении нашего понимания нематематических проблем? Нам представляется, что здесь есть, по крайней мере, две возможности. Одна из них — прикладная математика. Это — использование математики как языка для построения

моделей, чуждых собственно математике, или, по крайней мере, несущественных для нее /11/. Вторая — это неожиданно новая, предметная интерпретация математических построений, сопровождаемая лишь добавлением новых постулатов, относящихся уже непосредственно к предметной интерпретации. В формулировке Манина похожая мысль звучит так /29/:

Безумная идея, которая лежит в основе будущей фундаментальной физической теории, будет пониманием того, что физический смысл имеет некоторый математический образ, ранее не связывавшийся с реальностью. С этой точки зрения проблема безумной идеи — это проблема выбора, а не порождения. (стр.4)

Проблема выбора — это обращение к уже существующей, чистой математике, а не порождение на ее основе прикладной. Если учесть, что многие математики придерживаются того взгляда, что они не выдумывают своих построений, а открывают их (платоновский реализм), то не следует ли отсюда, что математика обогащает сознание человека ранее не признанными символическими построениями — своеобразными мандалами, которые по своей природе являются архетипами, ключами к пониманию (в терминологии Юнга).

3. Целостность вероятностно восприняемого мира. Философия холистизма, будучи выраженной на языке дискретных представлений, выглядит неуклюже. Приходится говорить о том, что всё, что мы видим в природе, есть целостность, заданная нам в своем иерархическом единстве — каждое целое есть часть большого целого и т.д. /30/. На языке вероятностных представлений сознание каждого человека включает в себя всю семантическую Вселенную во всей ее безграничности: персонализированность человека, его обособленность от мира осуществляется в частичной проявленности, задаваемой селективностью функции распределения вероятностей, построенной на всем поле семантической Вселенной. Всё, отчетливо не выраженное, присутствует в нем в сумеречном состоянии сознания — и четких границ здесь нет. Всё — не часть целого, а с а м о ц е л о е, только особым образом организованное с помощью числа. Если мы готовы поднять на тот высокий уровень абстрактности, на котором оказалось возможным развитие теории множеств, то тогда и одномерное семантическое пространство не может рассматриваться как часть многомерного пространства ^{x)}. Правда, вероятностная мера, задаваемая на семанти-

^{x)} Известна теорема (доказанная еще Г.Кантором) о том, что если \mathbb{R} — множество всех действительных чисел, обладающих мощностью континуума,

ческом поле, позволяет уже говорить об иерархии, уровни которой могут отличаться, скажем, числом возможных парных коэффициентов корреляции в многомерном пространстве или как-нибудь еще. Но это уже будет иерархия проявленности того пространства, которое само по себе может рассматриваться и как находящееся в иерархически расчлененной целостности. Непроявленное семантическое поле может рассматриваться как семантический вакуум (здесь некоторая аналогия с современным представлением о физическом вакууме). В развиваемой нами системе представлений исчезает необходимость в построении иерархических классификаций целого. Человека — того человека, который ощущает себя свободным, наверное, всегда смущало представление об иерархии вышестоящих членов. Подтверждением этого могут служить слова, сказанные Мейстером Экхартом ¹³¹ еще в XIV веке:

" Душа не может перенести чего-либо, стоящего над ней. Я полагаю, что она не может перенести и даже бога, стоящего выше. Если его нет в душе, и душа не благостна так же, как он, то, конечно, нельзя ощутить свободы." (стр.163)

Эти удивительные слова, сказанные христианским мыслителем в средние века, воспроизвели запрещенную и, казалось, забытую в то время гностическую мысль.

У. Заключительные замечания

Сказанное здесь не может рассматриваться как теория сознания, если образцом научной теории считать теоретические построения в физике. При изучении сознания невозможно осуществить эксперимент, который ставил бы теорию в условия риска (как это имеет место в физике). Правда, сама история все время ведет эксперимент над человеком. Но этот эксперимент никогда не планируется как научный, его результат всегда остается неопределенным, т.е. однозначно не интерпретируемым. Он в своей сложности всегда оказывается единственным и неповторимым. С определенной уверенностью, пожалуй, можно только утверждать, что история развития культур не противоречит фундаментальному для нас представлению о спонтанности в раскрытии сознания. Но, конечно, и здесь можно искать (говоря в терминах современной физики) скрытые параметры. Эта попытка отнюдь не нова:

"А у вас и волосы на голове все сочтены" (Лука, 12.7).

то и множество точек пространства R^n (где n — натуральное число) обладает также мощностью континуума ^{/27/}

Разве сказанное так не было обращением все к тем же скрытым параметрам? Но для того, кому открылась возможность вероятностного мышления, естественно, хочется отбросить этот обветшалый детерминизм. С точки зрения строго мыслящего ученого, воспитанного на современной логике, ненаучна уже сама попытка построить научную теорию сознания. Чтобы решить эту задачу, мы должны выйти за пределы сознания — подняться на уровень метасознания. Но реалистична ли вера в эту возможность? Сказанное в этой работе — не более, чем откровенная попытка возродить *натурфилософию* ^{х)}. И что иное можно сделать, изучая сознание? Мы предложили миф о сознании, написанный на научном языке. Он может либо понравиться, либо не понравиться. Другого критерия здесь нет.

Литература

1. Jaspers K. Vom Ursprung und Ziel der Geschichte, Zurich: Artemis-Verlag, 1949, 360 S.
2. J.Wechsler (Ed.). On Aesthetics in Science. Cambridge, Mass.: The M.I.T.Press, 1979, 180 p.
3. Нахимов В.В. Вероятностная модель языка, 2-е расширенное издание. М.: "Наука", 1979, 303 стр.
V.V.Nalimov. In the Labyrinths of Language: A Mathematician's Journey, Philadelphia: ISI Press, 1981, 246 p.
4. Гальперин И.П. (ред.). Большой англо-русский словарь в двух томах. 150 000 слов. М.: Советская энциклопедия, 1972, 1905 стр.
5. Аристотель. Сочинения в четырех томах, т.2: М.: "Мысль", 1978, 686 стр.

х) *Натурфилософия* — использование научных представлений для умозрительного (не сопоставимого с опытом) истолкования природы в ее целостности. Во время Возрождения натурфилософскими построениями занимались Бруно, Кампанелла, Кардано, Парацельс и, позднее, Шеллинг. пытался в натурфилософском плане обобщить современное ему естествознание. В близкое нам время к натурфилософским относят теорию эмергентной эволюции, философию целостности Уайтхеда, философию биокосмизма В.И.Вернадского и теокосмизма Тейяра де Шардена. И современная космогония не приобретает ли натурфилософское звучание?

6. Welwood J. On Psychological Space, *Journal of Transpersonal Psychology*, 1977, 9, 2, p. 97-118.
7. Wilber K. A Development View of Consciousness, *The Journal of Transpersonal Psychology*, 1979, 11, 1, p.1-21.
8. Needham J. *Science and Civilization in China*, v.II, Cambridge University Press, 1956, 696 p.
9. Heidegger M. *Sein und Zeit*, Tübingen: Max Niemeyer, 1960, 435 S.
10. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. М.: "Советское радио", 1974, 152 стр.
11. Nalimov V.V. *Faces of Science*. Philadelphia: ISI Press, 1981, 297 p.
12. Jung K. *Psychology and Alchemy*, London: Routledge & Kegan Paul, 1953, 553 p.
13. Розенталь И.Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных. *Успехи физических наук*, 1980, 131, 2, 239-256 стр.
14. Paulin D. *Authenticity in the Interpretation of Christianity*. In: *Buddhism and Christianity* (Ed. by M.Pye and R.Morgan), The Hague: Mouton, 1973, p.127-159.
15. Флоренский П. Столп и утверждения Истины. М.: "Путь", 1914, 814 стр.
16. Welwood J. *Mediation and the Unconscious: A New Perspective*, the *Journal of Transpersonal Psychology*, 1977, 9, 1, p.1-26.
17. Sall M.J. *Demon Possession or Psychopathology?* *Journal Psychology and Technology*, 1976, 4, Fall, p.286-290 (cited from *Current Contents, Social and Behaviour Science*, 1977, 9, 16, 19 p.).
18. Dusen W.W. *Hallucination or the World of Spirits*. In: *Frontiers of Consciousness* (Ed. by J.White), New York: Avon Books, 1974, p. 62-92 .
19. Jung C. *Memories, Dreams, Reflections*. New York: Vintage Books, 1963, 430.p.
20. Peters L.G. *An Experimental Study of Nepales Shamanism*, *The Journal of Transpersonal Psychology*, 1981, 13, 1, p.1-26.
21. Cooper J.C. *An Illustrated Encyclopedia of Traditional Symbolism*, London: Thames & Hudson, 1978, 207 p.
22. Мейен С.В. , Налимов В.В. Вероятностный мир и вероятностный язык. *Химия и жизнь*, 1979, 6, с.22-27.
23. Nalimov V.V., Meyen S.V. *Probabilistic Vision of the World*, 6th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Abstracts, Sect.7, 1979, 253-257 p.
24. Josepson B.D., Ramachandran V.S. *Consciousness and the Physical World*, Oxford: Pergamon Press, 1980, 203 p.
25. Гриб А.А. Фон-неймановская интерпретация квантовой механики и проблема сознания. В сб.: *Философия и развитие естественно-научной картины мира*. Л., изд. Ленинградского университета, 1981, с.75-83.
26. Stapp H.P. *Mind, matter and Quantum Mechanics*, *Foundations of Physics*, 12, 4, 1982, 363-398 p.
27. *Математическая энциклопедия в 4-х томах*. М.: Советская энциклопедия, т.1, 1977, II51 с., т.2, 1979, II03 с., т.3, 1982, II83 с.
28. Angel R.B. *Relativity: The Theory and its Philosophy*, Oxford: Pergamon Press, 1980, 259 p.
29. Манин Д.И. *Математика и физика*. М.: "Знание", 1979, 63 с.
30. Smuth J. *Holism and Evolutions*, New York: MacMillan, 1936, 358 p.
31. Mester Eckhart. *Modern translation by R.B.Haknag*, New York: Harper & Row, 1941, 332 p.
32. Nalimov V.V. *Realms of the Unconscious: The Enchanted Frontier*, Philadelphia, Pa.: ISI Press, 1982, 320 p.

ПРИНЦИПЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В КОНТЕКСТЕ
РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

В.Н.Первушин

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

"... теоретик, в качестве фундамента, нуждается в некоторых общих предположениях, так называемых принципах, исходя из которых, он может вывести следствия..."

А.Эйнштейн ^{/1/}, т. IV, стр.14

Введение

Контуры будущей единой физической теории уже можно различить. Она основывается на единых принципах построения всех взаимодействий, в том числе гравитационного. Как эти принципы возникли? И как произошло их слияние с принципами общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна? — эти вопросы стоят в центре настоящей статьи. Мы будем обсуждать, в основном, историю идей, а не их логические следствия. Такая задача допускает несколько свободный стиль изложения.

В основном речь пойдет о принципах теории тяготения Эйнштейна. Других теорий тяготения мы будем касаться в той мере, в какой они опираются на критику исходных идей ОТО.

Исторический анализ физических идей будет, по-видимому, более плодотворным, если такой анализ основывается на современном понимании исходных посылок теоретического описания природы.

Напомним, что в до-ньютоновской физике этими послылками были эмпирические законы, а после Ньютона — уравнения движения. В настоящее время исходными для построения физических теорий являются принципы симметрии.

Основные усилия физиков направлены на поиск адекватных природе групп симметрий, а построение классических и квантовых теорий по существу сведено к конструкции соответствующих представлений найденных групп. Такой стиль мышления Эйнштейн плодотворно применил для создания новых физических теорий СТО и ОТО. (В письме к М.Соловину Эйнштейн подчеркивает направления поиска именно принципов построения "законов природы", а не самих "законов" ^{/1/}). Историю возникновения этого стиля мышления в современной науке исследовал еще академик В.И.Вернадский ^{/2/}. Здесь можно вспомнить Эрлангенскую программу Клейна, развитие теории групп Ли, кристаллографию Федорова, работы А.Пуанкаре по теории относительности, проблемы Гильберта, последние работы Пьера Кюри, который "впервые указал, что принцип симметрии является основным для всех физических явлений" ^{/2/} и т.д. Мы будем принимать "стиль мышления", основанный на принципах симметрии, как исходный эмпирический "факт" в развитии самой науки, необходимость которого "доказана" его удивительной плодотворностью не только в физике, но и в других науках ^{х)}.

I. Общая теория относительности

A) От "явлений" к "принципам".

Специальная теория относительности (СТО) в известном смысле была логическим следствием принципов симметрии электродинамики Фарадея-Максвелла. Более глубокое релятивистское понимание электромагнитного взаимодействия материи стимулировало поиски аналогичного пересмотра теории гравитации Ньютона. Поиск релятивистских принципов тяготения был той установкой Эйнштейна, которая выгодно отличала его от других исследователей теории гравитации. Исходные идеи теории Эйнштейна были подготовлены также всем ходом развития неевклидовой геометрии XIX века, работами Лобачевского, Римана и др. математиков.

Эйнштейн сумел в своем творчестве максимально использовать и отразить мировоззрение своей эпохи. И в этом его можно сравнить с Ньютоном.

С другой стороны, изменение научного мировоззрения в процессе развития физики допускает необязательность полного разделения взгля-

х) "Вывод, ставший руководящим принципом современной математики, состоит в следующем: всякий раз, когда вам приходится иметь дело с некоторым объектом Σ , наделенным структурой, попытайтесь определить группу его автоморфизмов (т.е. группу, элементом которой являются преобразования, оставляющие без изменения все структурные соотношения)". Г.Вейль ^{/3/}.

дов Эйнштейна на принципы ОТО в момент её возникновения, даже если сама ОТО принята без всяких поправок. Ведь для того, чтобы принять механику и теорию гравитации Ньютона, необязательно разделять его теологические убеждения, хотя они сыграли не менее решающую роль, чем "Начала" Евклида и естественнонаучные взгляды Ньютона. Наша задача и заключается в том, чтобы проследить, как по мере развития "непреходящее" в принципах ОТО отделялось от "временного" (по крайней мере, с современных позиций).

Сформулируем кратко основы построения ОТО в период ее возникновения.

1. Принцип относительности в логической схеме ОТО, в которой относительность скорости и положения (т.е. инвариантность физических уравнений относительно преобразований группы Лоренца-Пуанкаре) определяют геометрию псевдоевклидова пространства-времени.

2. Принцип эквивалентности - равенство инертной и гравитационной масс, которое "допускает иное выражение локальной эквивалентности ускорения и гравитации" (Эйнштейн иллюстрирует это положение мысленным экспериментом с лифтом).

3. Относительность ускорения - предположение Эйнштейна, что принцип эквивалентности "знаменует" прямое обобщение принципа относительности на системы координат, движущихся неравномерно относительно друг друга.

Из этих трех пунктов можно вывести тождество геометрии и гравитации. Действительно, "относительность ускорения" есть единое понятие, но "ускорение" связано с гравитацией по пункту 2, а "относительность", согласно пункту 1, определяет геометрию пространства. Отсюда уже можно сделать вывод о единстве геометрии и гравитации. Но реально все было не так просто. Наряду с пунктами 1-3 нужно упомянуть принцип соответствия с теорией Ньютона, включение неоднородных гравитационных полей и другие аргументы, приведшие Эйнштейна от "относительности ускорения" к принципу общей ковариантности и концепции отождествления гравитационных потенциалов с компонентами метрического тензора. "Тем самым проблема гравитации была сведена к чисто математической" ^{/1/} (т.4, стр.353): написать дифференциальные уравнения для метрического тензора, инвариантные относительно общековариантных преобразований" ^{/1/} (т.4, стр.282). Такая программа и была поставлена Эйнштейном перед физиками и математиками.

Б) От "принципов" к уравнениям

Эта часть исследования требовала в основном математических знаний и логических выводов. Эйнштейну (в сотрудничестве на определенных этапах с математиками) и независимо Гильберту удалось получить

уравнения гравитационного поля, инвариантные относительно общековариантных преобразований. Отметим роль взаимного влияния Эйнштейна и Гильберта друг на друга при получении уравнений ОТО. /4/

Если Эйнштейну бесспорно принадлежит принцип общей ковариантности и физическая постановка задачи, то Гильберту принадлежит вывод уравнений из требований общей ковариантности и вариационного принципа. Этот вывод, предвосхитивший методы современной теории поля, стимулировал доказательство знаменитых теорем Нётер.

Выводы:

При описании основ ОТО мы различаем два этапа:

А) Открытие "принципа общей ковариантности".

Б) Логический вывод уравнений ОТО из этого принципа.

Важнейшими элементами открытия исходной симметрии были перечисленные выше принципы 1), 2), 3). Концепция отождествления гравитации и геометрии, подготовленная работами Лобачевского, Римана и др., возникла на первом этапе у Эйнштейна как логическое следствие принципов относительности и эквивалентности.

2. "Теория тяготения"

В 20-е гг. на основе моделей расширяющейся Вселенной Фридмана возникла релятивистская космология. Хаббл в 1929 году экспериментально подтвердил расширение Вселенной. Эйнштейн и его сотрудники развили геометрическую концепцию построения единой теории поля. Все это способствовало закреплению логических и физических основ ОТО в той форме, в которой их сформулировал Эйнштейн. Эти же годы ознаменовались возникновением квантовой механики (1925-26 гг.) и квантовой теории поля (1927-30 гг.). Концепция принципов симметрии была оформлена в квантовой теории Дираком, Вейлем, Вигнером, Фоком и др. в четкие понятия групп симметрий и их представлений. Дираком было найдено спинорное представление группы Пуанкаре, предсказывающее существование позитрона, и предложена современная форма квантовой электродинамики, которая в свою очередь стимулировала теорию слабых взаимодействий Ферми.

Начиная с 1918 г., Вейль пытался найти геометрические принципы построения электродинамики, т.е. обратить аналогию Эйнштейна СТО и ОТО. Попытки Вейля увенчались успехом только после создания квантовой механики. Ключом к формулировке геометрического принципа построения электродинамики (известного сейчас как принципа локальной калибровочной симметрии) для Вейля явилось переопределение квантово-механического оператора импульса при наличии электромагнитного поля. Такое переопределение было дано Фоком в 1927 г. Большая роль фазовых (калибровочных) преобразований в квантовой теории подчеркивалась

также в работах Ф. Лондона, который в дальнейшем успешно применил эти преобразования в теории сверхпроводимости. В современном виде принцип калибровочной инвариантности изложен в книге Вейля /6/, выпущенной в 1933 г. Таким образом, в генезисе "калибровочной инвариантности" в равной мере участвовала и ОТО, стимулирующая поиск принципов построения единой теории гравитации и электромагнетизма (1918-19 гг.), и квантовая механика, установившая форму фазовой инвариантности, посредством фоковского переопределения оператора импульса в присутствии электромагнитного поля.

На фоне развития квантовой теории стала проявляться тенденция пересмотра основ ОТО. Наиболее ярким представителем этой тенденции был В.А. Фок /7/, который принимал активное участие и в развитии ОТО. (Ему принадлежит общековариантная формулировка дираковской теории электрона и им выведены уравнения движения из уравнений ОТО независимо от работы Эйнштейна, Инфельда, Гоффмана). В критических замечаниях Фока, которые были поддержаны Вигнером /8/, было ясное понимание того факта, что группа Пуанкаре в СТО играет совершенно другую физическую роль, чем общековариантная группа в ОТО.

Фок утверждает /7/ :

а) Принцип эквивалентности не отражает "относительности ускорения".

б) Само понятие "относительности ускорения" ничего общего с "относительностью скорости" не имеет, а носит динамический характер, в том смысле, что инвариантность уравнений, относительно преобразований общековариантной группы является лишь динамическим (эвристическим) средством введения гравитационного поля с помощью геометрических величин, появляющихся при таких преобразованиях.

Тем самым Фок перечеркивает пункты 1) и 3) (раздел I), и, более того, предлагает изменить само название "Общая теория относительности" на "Теорию пространства, времени и тяготения".

Исходным пунктом построения "теории тяготения" для Фока были:

1) Равенство инертной и гравитационной масс, или единая природа тяготения и инерции.

2) Гипотеза о римановом характере пространства-времени, отклонение которого от геометрии плоского пространства описывает поля тяготения (т.е. "тождество геометрии и гравитации").

Принципу общей ковариантности при этом отводится лишь незначительная "эвристическая" роль. Установив различный физический смысл группы Пуанкаре и общековариантной группы, Фок отразил здесь ту прогрессивную тенденцию в теоретической физике, которая получила развитие в работах Янга, Миллса, Утиямы, Киббла и др., подготовивших современное понимание проблемы единых теорий. Признавая критику

Фоком основ ОТО своевременной и плодотворной, мы должны признать также, что Фок "вместе с водой выплеснул и ребенка", а именно принцип общей ковариантности (который был основным для вывода уравнений ОТО по Гильберту). Понятие группы у Фока носит вспомогательную роль по отношению к уравнениям ОТО. С точки зрения гносеологических установок Эйнштейна, для которого исходной физической реальностью являлись группы симметрии, Фок опустился на ступень ниже к уравнениям". Отрицая пункты 1) и 3) основ ОТО, Фок тем не менее оставил их логическое следствие: концепцию отождествления, указывая на динамический (а не геометрический) смысл общековариантных преобразований, Фок просто постулировал геометрическую трактовку гравитации, а не вывел ее, как Эйнштейн, из принципов. Поэтому точно так же, как Фок видел "ошибки" Эйнштейна уже в названии "ОТО", можно усмотреть "логическую непоследовательность" критики Фока в самом названии его книги "Теория пространства, времени и тяготения". Но "ошибки" и "логическая непоследовательность", взятые в кавычки, отражают здесь лишь результат изменения всего научного мировоззрения в процессе его развития, и не могут быть поставлены в вину ни Эйнштейну, ни Фоку, оба они следовали физическим представлениям своего времени.

Выводы

Развитие квантовой теории привело к формулировке принципа калибровочной инвариантности (Вейль, 1931 г.), а также к изменению понимания основ ОТО со стороны тех ученых, которые развивали квантовые представления о симметрии (Фок, Вигнер). Суть этих изменений заключалась в выяснении того обстоятельства, что группы Пуанкаре и общековариантная группа играют разные физические роли при построении СТО и ОТО соответственно. На этом основании Фок показал "иллюзорность" доказательства Эйнштейном тождества геометрии и гравитации. Если поставить прямой вопрос: кто прав? Фок или Эйнштейн?, то на данном этапе мы должны, как будто, признать правоту Фока. Но тогда возникает другой вопрос: почему Эйнштейн, исходя из неправильных посылок, получил правильные результаты, которые Фок вынужден постулировать как аксиому, не добавляя к ним ничего принципиально нового?

3. Калибровочные поля

Современное понимание принципов инвариантности в теории поля стало формироваться, начиная с работы Янга и Миллса /9/. В их работе нет ссылок на Вейля, по тем же причинам, по которым мы не ссылаемся на Максвелла или Фарадея, упоминая электродинамику. (Роль Вейля достаточно полно освещена в обзорной статье самого Янга /10/). До

сих пор в литературе Янга и Миллса иногда считают родоначальниками принципа калибровочной симметрии: будет более верным сказать, что они обобщили вейлевскую интерпретацию калибровочной группы преобразования в электродинамике на изотопическую группу инвариантности сильных взаимодействий. (Все адроны классифицируются по мультиплетам, которые характеризуются сохраняющимся квантовым числом - изоспином, что соответствует инвариантности относительно вращений изоспина). Суть работы Янга и Миллса заключалась в том, что они, следуя Вейлю, предложили инвариантность сильных взаимодействий относительно независимых вращений изотопического спина во всех точках пространства-времени. Чтобы обеспечить инвариантность лагранжиана в случае локализации вращений изоспина, возникает необходимость введения дополнительного "компенсирующего" физического поля, изовращение которого компенсирует неинвариантную часть лагранжиана материи. Расширение обычной изотопической симметрии до локальной не ведет к новым законам сохранения, а накладывает явное ограничение на взаимодействия полей: такой принцип симметрии называется динамической симметрией (в отличие от принципа инвариантности, приводящего к законам сохранения, который называется алгебраической симметрией). Любую алгебраическую симметрию можно локализовать (т.е. расширить до динамической), вводя соответствующие компенсирующие поля. Утияма^{/11/} показал, что теория гравитации Эйнштейна возникает в результате локализации группы Пуанкаре, в которой поле тяготения играет роль компенсирующего поля. А Киббл^{/12/} сумел реализовать программу локализации таким путем, при котором не возникает необходимости априорно вводить криволинейные координаты и риманову метрику, т.е. получил ОТО без явного использования концепции отождествления геометрии и гравитации. В таком подходе все поля, в том числе гравитационные, не отличаются друг от друга. Унификация всех взаимодействий, конечно, не устранила автоматически концепцию отождествления, физические корни которой лежат в универсальности гравитации, но унификация продемонстрировала, что и противоположная точка зрения плодотворна, и в этом смысле имеет право на существование. Так новая точка зрения позволила решить проблему квантования гравитационного поля на уровне строгости современной квантовой теории поля^{/13/}.

Выводы

Развитие квантовой теории поля и физики элементарных частиц привело к классификации принципов симметрии. Стали выделять алгебраические принципы, связанные с законами сохранения, и динамические принципы, которые накладывают ограничения на взаимодействия полей. Было выяснено, что группа Пуанкаре в СТО и обобщенная группа в ОТО

играет разные роли с точки зрения такой классификации. Мы видим, что фок имел основания отвергать исходные эвристические "принципы" Эйнштейна 1), 2) построения ОТО. Однако дальнейший ход событий еще раз продемонстрировал плодотворность эвристических "принципов" Эйнштейна на примере той же теории сильных взаимодействий.

4. Киральная симметрия

В 50-е гг. в физике сильных взаимодействий возникла ситуация, чрезвычайно напоминающая времена создания ОТО. Все началось с довольно простого замечания^{х)} об одинаковой абсолютной величине электромагнитного (векторного) заряда у частиц, участвующих в сильных взаимодействиях (протона, пиона и т.д.), и частиц, не имеющих отношения к сильным взаимодействиям (электрона). Например, протон обрывает пионной ямой, как думали тогда, и тем не менее его заряд не изменяется, а остается таким, как у электрона. Для сравнения здесь следует напомнить, что масса (точнее, энергия) в теории гравитации играет роль гравитационного заряда. Точно так же, как из факта равенства инертной и гравитационной масс Эйнштейн предсказал обобщенную группу преобразований, так из равенства векторных зарядов лептонов и адронов можно предсказать группу преобразований сильных взаимодействий, сохраняющих векторные токи. И тут и там мы имеем одну и ту же величину - "заряд", сохраняющий свое значение в разных физических условиях. Из факта сохранения векторного заряда, т.е., как говорят, его перенормируемости, сразу следует экспериментально наблюдаемое предсказание - вероятность слабого распада заряженного пиона на нейтральный пион, электрон и нейтрино. Это предсказание было подтверждено в экспериментах, выполненных в ОИИИ (Дубна). Гелл-Манн и Фейнман пошли еще дальше. Дословно приводим заключительные слова из работы^{/14/}: "Следует также посмотреть, нельзя ли согласовать систему связей так, чтобы аксиально-векторная часть тоже не перенормировалась и изучать смысл группы преобразований, которые здесь возникают"^{xx)}.

Программа изучения этой группы, которая получила название "киральной", была затем выполнена в работах Гелл-Манна и его последователей. Это направление получило название "киральной алгебры токов".

х) Эта идея принадлежит Герштейну, Зельдовичу, Маршаку, Сударшану, Гелл-Ману и Фейнману.

xx) На самом деле аксиальные константы для обычных адронов отличались в то время от лептонных на 30%, а для странных частиц, как оказалось позднее, вообще не совпадают.

Алгебраической реализацией киральной группы являются безмассовые спинорные частицы (нейтрино?), обладающие сохраняющимся квантовым числом — спиральностью (или киральностью), которое описывает проекцию спина на направление движения.

Интерпретация киральной симметрии как динамической (с пионами в роли "компенсирующих" полей) нашла свое выражение в методе киральных феноменологических лагранжианов и привела к успешному описанию различных процессов в низкоэнергетической адронной физике /15/. Киральное направление подготовило сильные взаимодействия к принятию их в лоно квантовой теории поля и сыграло роль прелюдии к современной квантовой хромодинамике и теориям великого объединения. Теория гравитации также не была обойдена потоком работ по киральной тематике. Д.В.Волков и др. показали, что метод феноменологических лагранжианов совпадает по существу с мощным математическим аппаратом построения нелинейных реализаций групп симметрий, который развивал в другом контексте известный французский математик Эли Картан в 20-е гг. /16/.

В.И.Огиевецкий применил этот аппарат к обобщенной киральной группе и сделал еще один ("киральный") вывод ОТО Эйнштейна /17/. Концепция отождествления гравитации и геометрии здесь не привлекалась, но поля тяготения и пространственно-временные координаты в методе Картана играют роль равноправных переменных.

Аналогия гравитации с сильными взаимодействиями и новый вывод ОТО внесли коррективы и в понимание ее основ.

Как оказалось, в сильных взаимодействиях разница между динамическими и алгебраическими киральными симметриями носит не абсолютный, а относительный характер. Один и тот же принцип киральной инвариантности можно использовать для описания низкоэнергетической феноменологии (динамическая реализация) и для формулировки кварк-партоновой картины сильных взаимодействий на малых расстояниях (алгебраическая реализация), т.е. одна и та же физическая система, описываемая принципом симметрии, в зависимости от условий может иметь "динамическую" или "алгебраическую" фазу. Такие же явления наблюдаются в физике твердого тела при фазовых переходах, вызванных изменением внешних условий, например, температуры. Эти аналогии наводят на мысль о возможности различных фаз реализации принципа ковариантности. Вопрос об алгебраической фазе теории тяготения в настоящее время, по-видимому, является преждевременным и почти не изучается.

Выводы

На примере возникновения киральной симметрии сильных взаимодействий мы видели, что приближенная универсальность векторных и аксиальных зарядов при изменении физических взаимодействий может являться

поводом для формулировки принципов симметрии этих взаимодействий. Но переход от универсальности заряда к симметрии и составляет суть эйнштейновского перехода от "универсальности гравитационного заряда" к принципу общей ковариантности. Более того, изучение взаимодействий продемонстрировало относительность понятий алгебраической и динамической симметрии. Такого рода "относительность" еще не исследована в гравитации, однако прецедент, имеющий место в другой области физики, заставляет по-новому относиться к выводам разделов 2,3.

5. К единой теории

Последние 15 лет в теоретической физике прошли под знаком триумфа идеи калибровочной инвариантности. Стратегия современной физики, как было отмечено выше, есть поиск принципов симметрии, адекватных природе, в то время как наиболее плодотворной тактикой при построении фактически всех работающих теорий является идеализация электродинамики. И чем больше было известно о принципах симметрии электродинамики, тем более плодотворными оказывались аналогии с этой теорией. И теория слабых взаимодействий Ферми, и единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий Салама-Вайнберга основаны на аналогии с электродинамикой, но если для первой аналогом послужила внешняя форма взаимодействия, то для последней — принципы калибровочной инвариантности.

Не менее важную роль в становлении современных теорий сыграла группа согласованных масштабных преобразований физических величин квантовой электродинамики (КЭД), известная под названием ренормализационной группы. Исторически исходным для формулировки этой группы был принцип перенормируемости, т.е. устранение всех бесконечных расходимостей в КЭД посредством переопределения масштабов физических величин. (По мнению одного из создателей КЭД Фейнмана, мы скорее здесь "заметаем мусор под ковер", вместо того, чтобы его выбросить).

Ренормализационная группа позволяет оценить поведение эффективного заряда в теории поля, в частности, предсказывает для теории Янга-Миллса уменьшение заряда на малых расстояниях (асимптотическую свободу) и неограниченное увеличение на больших расстояниях (инфракрасное рабство). Именно это обстоятельство послужило одним из главных аргументов для построения по аналогии с КЭД теории сильных взаимодействий на основе полей Янга-Миллса, т.н. квантовой хромодинамики (КХД), в которой роль электронов и фотонов играют кварки и глюоны.

С точки зрения ренормгрупповых методов причина ненаблюдаемости кварков (конфайнмент) качественно понята. Глубокая вера в ренормгрупповые оценки лежит в основе современных представлений об "асимптоти-

ческой пустыне" (т.е. отсутствии каких-либо качественных изменений в физике элементарных частиц при энергиях, на много порядков превышающих энергии современных ускорителей). Эти представления проникли в космологию и космогонию с помощью теорий великого объединения и супергравитации /18,19/ .

Однако в настоящее время появились аргументы экспериментальные и теоретические, свидетельствующие о том, что причина конфайнмента не "ренормгрупповая" теория возмущений, а непертурбативные взаимодействия с вакуумом.

Таким образом, уже при энергиях, давно пройденных современными ускорителями, мы встречаемся с неразгаданным механизмом конфайнмента.

Здесь мы подошли к тому рубежу теоретической физики, в котором настоящее неотделимо от будущего, в силу чего объективные оценки почти невозможны. Мы попытаемся охарактеризовать современные исследования, раскрывая лишь тенденцию их идейного развития. Первая из этих тенденций есть тенденция вакуума. Суть ее можно кратко выразить следующим образом: объяснение наблюдаемого мира явлений непосредственно ненаблюдаемыми физическими объектами или их свойствами. Например, в теории Вайнберга-Салама имеется скалярный конденсат, который непосредственно ненаблюдаем, но посредством которого формируются важнейшие параметры наблюдаемого мира - массы всех частиц ^{x)}.

В электродинамике существует два типа вакуума: а) виртуальное рождение и уничтожение частиц и б) газ фотонов, энергия которых меньше, чем энергетическое разрешение прибора. Эти фотоны реально существуют, но практически ненаблюдаемы при заданном разрешении приборов, и поэтому их можно назвать вакуумом.

Однако взаимодействие с этими фотонами необходимо учитывать как теоретикам, так и экспериментаторам. Теоретикам - для того, чтобы устранить инфракрасные расходимости в теории путем введения феноменологического параметра- размера прибора, а экспериментаторам - чтобы правильно обработать экспериментальные данные. Мы не можем построить прибор, измеряющий энергию сколь угодно точно, и с этой точки зрения наш мир энергетически открыт снизу. Если обратиться к до сих пор неисчерпаемой аналогии с электродинамикой и предположить существование таких же инфракрасных глюонов в КХД, то их свойства должны радикально отличаться от фотонного вакуума. Из-за сильного взаимодействия на больших расстояниях, это будет не газ, а квантовая ненаблюдаемая глюонная жидкость, образующая нечто вроде пузырей - мешков для кварков с

^{x)} Следует отметить, что возможность возникновения новых вакуумов в квантовой теории поля рассматривалась Д.И.Блохинцевым еще в 1951 г. /20/ .

непроницаемыми стенками и определяющая все богатство адронного спектра масс. Существуют как экспериментальные, так и теоретические указания на такую пенообразную структуру вакуума. Основное отличие "квантовой жидкости" от классической - это необходимость рассмотрения ее в целом с помощью понятия единой волновой функции, которая задана нелокально сразу во всем пространстве и "чувствует" /20/ крупномасштабные свойства этого пространства. (Эти свойства называются топологическими: замкнутость, связность и т.д.) В настоящее время обнаружили, что топологические свойства пространства глюонных полей нетривиальны и отличаются от электромагнитных). В нелокальности волновой функции состоит суть таких чисто квантовых явлений, как эффекты Бома-Ааронова, Джозефсона, Казимира, физика сверхтекучести и сверхпроводимости. Мы начинаем все больше понимать, что и в релятивистской теории поля свойства физического объекта в целом определяют локальную структуру не в меньшей степени, чем локальные свойства определяют поведение объекта в целом. Такую тенденцию развития можно было бы назвать тенденцией Целого. Она указывает на постепенное осознание квантового характера нашего макроскопического мира и переход к той шкале ценностных ориентаций, которая сформировалась в работах Ф.Лондона, Ландау, Боголюбова и др. по теориям сверхтекучести и сверхпроводимости.

Следует отметить, что в ОТО метрический тензор базового пространства играет такую же техническую роль, как бозе-конденсат в теории сверхтекучести Боголюбова или "сверхтекучая компонента" в теории Ландау. В последние годы появились идеи, объясняющие спонтанное рождение Вселенной квантовыми (или "сверхтекучими") процессами в гравитационных полях /21/ (например, в результате квантовой флуктуации метрики /22/). Основная идея состоит в том, что квантовая природа гравитации проявляется не только в микро-, но и в макромасштабах. Опыт изучения макроскопических квантовых жидкостей подсказывает, что в такой теории вакуума и пространства возможны глубокие связи параметров микро- и макромира, что является одним из положений современного физического антропоморфизма, т.е. феноменологической теории, объясняющей соотношения между физическими константами фактом существования человека: "Мир таков, как он есть, потому что мы существуем" /23/ . В соответствии с этим плодотворно работающим антропологическим принципом на вопрос: "Почему Вселенная такова, какой мы ее наблюдаем?", пока есть один ответ: "Если бы было иначе, некому было бы задать такой вопрос" /23/ . Мы видим, как квантовые представления постепенно изменяют логику физических исследований: классическое объяснение с помощью логики причины дополняется в духе Бора логикой цели (телеологией). Эту тенденцию можно было бы назвать тенденцией Человека.

Что касается исходных принципов в теории гравитации, то концепция отождествления геометрии и гравитации постепенно вытесняется, а лучше сказать, дополняется идеей равноправного введения координат и полей (как фермионов, так и бозонов). Эта идея, пропагандируемая с 1972 г. Д.В.Волковым и развиваемая также в работах многих других физиков и математиков (см. обзоры /18,19/), стала одной из ведущих в супергравитации, претендующей на роль единой теории поля всех взаимодействий.

Супергравитация, основанная на симметрии между фермионами и бозонами, в отличие от теории Эйнштейна, удовлетворяет принципу перенормируемости и, говоря словами Фейнмана, позволяет обходиться без "мусора" (без бесконечных расходимостей). Однако реальная теория супергравитации еще не построена. И, возможно, потому, что еще не использован в полной мере весь тот арсенал идей квантовой теории, который был упомянут выше.

Наш исторический анализ был бы неполон без краткого упоминания последних успехов в самой теории гравитации Эйнштейна, которые, в основном, относятся к космологии.

Теоретическая модель Вселенной типа Фридмана с начальной сингулярностью в настоящее время подтверждается рядом экспериментальных фактов (инфракрасным смещением, реликтовым излучением, распределением химических элементов, возрастом Вселенной и т.д.) и теоретическими результатами (доказательством стабильности Фридмановского мира /24/, теоремами о неизбежности сингулярности в ОТО; в последнее время найдены теоретические аргументы, указывающие на нестабильность плоского мира Минковского /25/). Таким образом, есть основания полагать, что плоское пространство-время является весьма грубым приближением для ОТО.

Один из главных итогов развития космологии заключается в ясном осознании того факта, что теория Эйнштейна предназначена для описания всей наблюдаемой Вселенной, как в пространстве, так и во времени. Само признание того факта, что Вселенная есть объект изучения ОТО, меняет отношение к неясным проблемам ОТО, в частности, к проблеме сохранения энергии-импульса.

Возникает вопрос: можно ли ввести понятия энергии для такого "объекта", как Вселенная?

Определение сохраняющихся энергии и импульса какого-либо объекта в теории поля предполагает выход за границы этого объекта. Но что значит выйти за границы Вселенной? Не противоречит ли это исходному определению Вселенной как всего мира в целом? Можно сказать, что рассматривая Вселенную как объект теории поля (ОТО) и пытаясь по "инерции" определить энергию этого объекта, мы приходим к парадоксу

"рефлексии" Вселенной в конкретной физической теории. Может ли Вселенная "посмотреть на себя" со стороны, если эта "сторона" включается по определению, в само понятие "Вселенной"?

Для сравнения воспроизведем парадокс рефлексии Б.Рассела в формальной логике /26/: "... Цирюльник бреет всех, кто не бреется сам, и не бреет никого, кто бреется сам. Бреет ли цирюльник самого себя?". (Предполагается, что у цирюльника тоже растет борода). Легко убедиться в том, что как бы цирюльник ни манипулировал со своей бородой, он будет нарушать условия задачи. Ответ формальной логики следующий: "Существование такого цирюльника логически невозможно" /26/. Однако имеется также другая точка зрения, согласно которой логическое решение проблемы есть только один из возможных ответов, и в парадоксах рефлексии мы скорее имеем дело с физическими неоднозначностями, которые устраняются посредством эксперимента, а не чистой логики (проблема рефлексии логически неразрешима).

По-видимому, также обстоит дело и с проблемой энергии-импульса в ОТО в указанной выше постановке. Однако этот факт вовсе не умаляет роли ОТО как физической теории.

При изучении локальных ("околоземных") задач в теории гравитации обычно пренебрегают крупномасштабной структурой Вселенной и определяют понятия энергии каких-либо объектов ОТО, рассматривая систему этих объектов в плоском мире как изолированный "остров" /27/. Даже если пренебречь философскими и физическими аспектами этого приближения, здесь возникают следующие математические осложнения. Исходным принципом построения ОТО является инвариантность действия относительно группы общей ковариантности (см. раздел I). Однако при описании плоского мира мы вынуждены ограничить исходную группу общековариантных преобразований (в противном случае описание плоского мира будет зависеть от системы координат). Нужно сказать, что подобное ограничение исходной группы преобразований, относительно которых теория инвариантна, существует и в электродинамике, и вообще в любой теории, построенной с помощью принципа калибровочной инвариантности. Само это построение теории требует от преобразований указанной группы инвариантности только локальной гладкости. Этого недостаточно для доказательства инвариантности физических величин, которые, как правило, имеют глобальный (интегральный) характер и требуют ограничения глобальных свойств указанных преобразований, например, степени их убывания на бесконечность (в частности, так обнаружили различные топологические свойства калибровочных преобразований в электродинамике и хромодинамике). В ОТО этот недостаток (ограничение группы) также имеет свои достоинства. Например, для класса задач рассеяния введе-

ние асимптотически плоских граничных условий сводит группу обобщенных преобразований к ее подгруппе – группе возможных преобразований координат Бонди – Метцнера – Сакса /28/. Эта группа (БМС) является таким минимальным расширением группы Пуанкаре, в котором отсутствуют нефизические представления последней, т.е. частицы с непрерывным спином, и это расширение единственно.

Однако основной трудностью решения проблемы энергии-импульса "островов" /27/ является тот факт, что с точки зрения самой ОТО мы живем не в плоском мире, более того, этот плоский мир, по-видимому, неустойчив, в отличие от мира Фридмана.

Поэтому, естественно, возникают другие решения проблемы энергии-импульса. Мы отметим здесь один из наиболее радикальных, который развивается в работах Логунова с сотрудниками /29/. В этих работах требуется существование точных понятий энергии-импульса и используется более широкий класс преобразований в качестве физических. Такие требования приводят к выводу: существование ОТО логически невозможно, который по-существу совпадает с решением парадокса "рефлексии" в формальной логике. Авторы строят пример теории гравитации, в которой сама гравитация рассматривается как поле Фарадея – Максвелла в плоском пространстве, а тела движутся в эффективном римановом пространстве. Обе теории гравитации пока физически альтернативны, и какая из них верна – может сказать только эксперимент.

Выводы

Принципы калибровочной инвариантности стали универсальными принципами построения всех физических теорий. Однако одних локальных принципов оказалось недостаточно для решения актуальных проблем современной теории поля и гравитации.

Заключение

Мы попытались здесь кратко проследить историю постепенного слияния ОТО и современной квантовой теории поля на основе единых геометрических принципов. В генезисе этих принципов в равной мере принимали участие и квантовая механика, и электродинамика, и теория гравитации Эйнштейна. Значение ОТО определяется не только объяснением экспериментальных фактов, но и ее роль в формировании современного научного мировоззрения, и эта роль была немалой.

Что касается первоначальных принципов построения ОТО, то во все времена развития современной физики не подвергался сомнению лишь один факт: тождество инертной и гравитационной масс является экспе-

риментальной основой ОТО. Однако на каждом этапе путь, ведущий от "тождества масс" к теории гравитации, представлялся по-новому, и нет твердой уверенности, что этот путь в очередной раз не изменится с изменением физических представлений. Мы видели, как развитие квантовой механики в конечном итоге привело к более глубокому пониманию исходных принципов ОТО. Точно так же решение проблемы вакуума, конфайнмента, фазовых переходов в кварковой материи могло бы стимулировать качественно новый подход в гравитации типа алгебраической реализации принципа общей ковариантности, и тем самым, возможно, дало бы еще один ответ на вопрос: почему "тождество масс" или "универсальность зарядов" является поводом для предсказания новых принципов симметрии?

Можно сказать, что "правильное понимание" основ общей теории относительности есть не законченное состояние, а скорее продолжающийся процесс, связанный с развитием современной физики и в значительной степени стимулирующий это развитие.

Как мы видели выше (раздел 3), квантовая теория была одним из основных источников для формулировки принципа калибровочной инвариантности – исходного принципа построения современных теорий. Всё возрастающую роль квантовой теории и квантовых представлений в современной физике и теории гравитации мы попытались описать в виде трех тенденций. Эти тенденции (Целого, Вакуума, Человека) характеризуют не научно-естественный метод в классическую эпоху, а как раз ту натурфилософию, которую он похоронил. Мы как бы снова возвращаемся на естественнонаучном уровне к той "целостности натурфилософии", которая составляет содержание идеи об единстве картины мира и аналогии между микрокосмосом и макрокосмосом /30/.

Мы начинаем понимать, на уровне теорем Геделя, что любая естественнонаучная теория логически неполна и открыта в свою будущую метафизику. И основная задача уже созданной физической теории заключается не только в том, чтобы стремиться к логической законченности, завершенности своего развития, но и в том, чтобы осознать свои скрытые противоречия, и, следовательно, границы своей применимости. Напомним, что четкое осознание границ познания физики каждый раз непредсказуемо и конструктивно расширяло само знание. В этом "неограниченном" расширении возможностей физики как науки путем ограничения и заключается суть того нового, что внесли специальная теория относительности и квантовая механика. В преддверии такого "ограничения" находится и Общая теория относительности /31/.

Литература

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. I-IV, "Наука", М., 1965.
2. Вернадский В.И. "Пространство и время в неживой и живой природе", "Наука", М., 1965.
3. Вейль Г. "Симметрия", "Мир", М., 1970.
4. Смородинский Я.А., Вязгин В.П. УФН, 1979, 128, с.393.
5. Вязгин В.П. Релятивистская теория тяготения. "Наука", М., 1981.
6. Weyl H. Gruppentheorie and Quanten Mechanik, Ver-Lairzig, 1931.
7. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. Гостехиздат, М., 1955.
8. Вигнер Е. УФН, 1965, 85, с.732.
9. Yang C.N., Mills R.L. Phys.Rev., 1954, 96, 191.
10. Янг И. УФН, 1980, 132, вып. I, с.169.
11. Utiyama R. Phys.Rev., 1956, 101, p.1597.
12. Kibble T.W.B. Journ.of Math.Phys., 1961, 2, p.212.
13. Фаддеев Л.Д., Попов В.Н. УФН, 1973, т. III, с.428.
14. Feynman R., Gell-Mann M. Phys.Rev., 1968, 109, p.193.
15. Адлер С., Дашен Р. Алгебра токов. "Мир", М., 1970.
16. Волков Д.В. ЭЧАЯ, 1974, 4, с.3.
17. Ogievetsky V.I. Lett. Nuovo Cim., 1973, 8, p.988.
Борисов А.Б., Огиевецкий В.И. ТМФ, 1974, 21, с.329.
18. Гелл-Манн М., Рамон П., Слански Р. УФН, 1980, т.130, с.459.
19. Огиевецкий В.И., Мезинческу Л. УФН, 1975, II7, с.637.
Metschenhuzen van P. Phys.Rep., 1981, 68, N 4, p.191.
20. Блохинцев Д.И. УФН, 1950, 42, вып. I, 1951, 44, вып. I.
21. Зельдович Я.Б. УФН, 1981, 133, вып. 3, с.479.
22. Фомиин П.И. ДАН УССР, сер. А, 1975, №9, с.831, препринт ИТФ 74-90Р, Киев, 1974.
23. Хокинг С. Природа, 1982, №5.
24. Лифшиц Е.М. ЖЭТФ, 1946, 16, 587.
25. Yamagishi H. Phys.Lett., 1982, 114B, N 1, p.27.
26. Смаллиан Р.М. "Как же называется эта книга?", "Мир", М., 1981.
27. Фаддеев Л.Д. УФН, 1982, 136, вып. 3, с.435.
28. Волович И.В., Загребнов В.А., Фролов В.П. ЭЧАЯ, 1978, 9, с.147.
29. Денисов В.И., Логунов А.А. ЭЧАЯ, 1982, 13, с.757.
30. Паули В. Физические очерки, "Наука", М., 1975, с.170.
31. Марков М.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, с.214.

ПРОБЛЕМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ЗВУКА ПОТОКОМ^{х)}

Д.И. Блохинцев

Вот мое понимание проблемы распространения звука потоком. Будем рассматривать (просто ради) одномерные уравнения идеальной жидкости^{хх)}

$$Du = -\frac{c^2}{\rho} \nabla \rho; \quad D\rho + \rho \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где $D = \frac{\partial}{\partial t} - u \frac{\partial}{\partial x}$. Действуя на первое уравнение слева оператором $\partial/\partial t$, а на второе $\partial/\partial x$ и вычитая одно из другого, получим:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} F(u, \rho, \dots), \quad (2)$$

$$F = -\frac{\partial}{\partial t} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{c^2}{\rho} \right) \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{2c^2}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{c^2}{\rho} u \frac{\partial \rho}{\partial x}. \quad (3)$$

Правая часть уравнения (2) содержит вторую производную от u , поэтому особых преимуществ уравнение (2) не имеет. Представим u и ρ в виде $u \rightarrow u + \xi$, $\rho \rightarrow \rho + \delta$, где ξ и δ малы и имеют высокую частоту. Тогда получим уравнение распространения звука в неоднородной и движущейся среде.

Оставляя в (2) члены первого порядка малости по ξ , δ , получаем уравнение вида

х) В последние годы жизни Д.И. Блохинцев готовил новое издание ставшей уже библиографической редкостью книги "Акустика неоднородной и движущейся среды". Им были написаны дополнения к некоторым разделам книги, однако смерть помешала завершить эту работу.

Д.И. Блохинцев сделал дополнение к разделу "Проблема генерации звука потоком", которое представляет самостоятельный интерес и издается без существенных редакционных поправок.

хх) Здесь и далее автор использует эйлеровы переменные для описания движения материальной фазы. Соответственно этому $u(x, t)$ и $\rho(x, t)$ описывают скорость и плотность движущейся субстанции в точке пространства-времени (x, t) (прим. ред.).

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + u \frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x} + \dots = 0.$$

Эти уравнения линейны по ξ , δ .

Генерирование звука потоком требует учета в (3) нелинейных членов. Из (2) можно получить интегродифференциальное уравнение:

$$u(x, t) = u_0(x, t) + \int G(x-x', t-t') F(x', t) dx' dt'. \quad (4)$$

Здесь u_0 — свободная волна (т.е. решение однородного уравнения $\square u = 0$, $G(x-x', t-t')$ — функции Грина. В трехмерном случае имеем уравнение, аналогичное (4). При этом трехмерная функция Грина и соответствующее решение равны:

$$G(x-x', t-t') = \frac{1}{r(x, x')} \cdot \delta \left[t-t' + \frac{r(x, x')}{c} \right], \quad (5)$$

причем $r(x-x') = |\vec{x} - \vec{x}'|$ (для трех измерений!)

или
$$u(x, t) = u_0(x, t) + \int F(x', t - \frac{r(x, x')}{c}) dx'. \quad (6)$$

Отметим наличие эффекта запаздывания в (6). Интегрирование в (6) распространено по области пространства, где F существенно отлично от нуля (где "бурлит" поток). В этой области можно взять приближенное выражение для нелинейного члена $\frac{\partial}{\partial t} (u \frac{\partial u}{\partial x})$, например, пренебрегая сжимаемостью. В этом случае $\frac{\partial \rho}{\partial x} = 0$ и

$$F = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u^2}{\partial x} \right). \quad (7)$$

Таким образом, нелинейные добавки являются источником звука.

Если источник F сосредоточен на поверхности, то можно применить теорему Кирхгофа и свести задачу к граничным условиям. Действительно, по общей теории решений волновых уравнений, решение уравнения

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \nabla^2 u = F$$

сводится к сумме поверхностных интегралов (\equiv граничные условия) и интегралу по объемным источникам, что и отражено в (6).

ОБ ОСНОВОПОЛАГАЮЩИХ РАБОТАХ Д.И. БЛОХИНЦЕВА ПО АКУСТИКЕ НЕОДНОРОДНОЙ ДВИЖУЩЕЙСЯ СРЕДЫ

Е.М. Жмулин

Бурное развитие авиационного транспорта в истекшие три десятилетия, освоение космоса, создание летательных аппаратов с необычайно высокими уровнями энерговооруженности поставили на повестку дня проблему борьбы с вредным воздействием шума на экипаж, пассажиров, обслуживающий персонал и население в зонах эксплуатации, а также проблему акустической усталостной прочности конструкций при мощных нестационарных воздействиях в широком диапазоне частот.

За это же время сформулировалась новая область науки — авиационная акустика, задачами которой является практическая разработка и осуществление мероприятий по снижению вредных воздействий шумов на человека и конструкции летательных аппаратов, медико-биологические исследования влияния шума на организм человека, нормирование уровней шумов на местности и внутри летательных аппаратов, разработка новых звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов и конструкций и другие.

Наиболее сложным и важным направлением в этой области является аэроакустика, зародившаяся на границе аэродинамики и классической акустики и обобщающая результаты изучения природы аэродинамической генерации звука, его распространения в движущейся неоднородной среде и разработки методов снижения уровней шума в источнике.

Аэроакустика опирается на фундамент ряда отраслей науки, таких, как линейная и нелинейная акустика, нестационарная аэродинамика, гидродинамика, теория турбулентности, гидродинамическая теория устойчивости течений.

Диапазон задач аэроакустики весьма широк: от изучения обтекания решетки комнатного кондиционера и обеспечения необходимого акустического комфорта, до исследований истечения газовых струй двигателей космического корабля — в целях создания надежных конструкций, нестационарного движения среды, сопровождающегося образованием звука.

В настоящее время на этом пути достигнуты значительные успехи: решен ряд теоретических задач, разработаны принципы снижения аэрошумов, намечены пути создания малошумных летательных аппаратов.

В аэроакустике, у нас и за рубежом, сегодня сложились мощные коллективы специалистов, в эту область науки пришли крупные ученые — аэродинамики, созданы, проектируются и осуществляются специальные экспериментальные установки, разрабатываются специфические методы и системы измерений и обработки результатов экспериментов, непрерывно возрастает количество публикуемых работ и монографий.

Весьма высоки темпы развития аэроакустики: непрерывно повышается ее практическая значимость, расширяется ее потребность в развитии смежных областей науки. Если несколько лет назад использовались линейаризованные уравнения для описания аэроакустических процессов, то в настоящее время возросшие уровни звука поставили в повестку дня задачу разработки действительно нелинейной теории аэроакустики. Если в течение более полувека аэродинамики обходились решениями уравнений Рейнольдса, основанными на полумпирических теориях турбулентности, и этого было достаточно для оценки сил, действующих на обтекаемое потоком тело, то сегодня аэроакустика требует знания закономерностей пространственно-временных кинематических и динамических характеристик турбулентных течений.

Таково в общих чертах состояние аэроакустики на сегодняшний день.

История развития аэроакустики помнит не слишком большое число ученых, оставивших в ней заметный след. В трудах классиков естествознания — Гельмгольца, Кирхгофа и Релея — в конце XIX столетия был только намечен теоретический подход к задачам акустики движущейся среды и аэродинамической генерации звука. Однако из-за отсутствия потребностей общества это направление не получало дальнейшего развития в течение более полувека.

Практическое приложение и развитие аэроакустики началось в 30-е годы нашего столетия, после выхода работ Н.Н.Андреева и И.Г.Русакова ^{1/}, Л.Я.Гутина ^{2/}, Е.Я.Юдина ^{3/} по некоторым вопросам распространения звука в воздушном потоке, отдельным источникам аэродинамического шума.

В 1946 году появилась книга в скромном сером переплете, на котором было напечатано: "Д.И.Блохинцев. Акустика неоднородной движущейся среды. М., Гостехиздат", содержащая теоретические итоги интенсивной работы Д.И.Блохинцева до начала и во время Великой Отечественной войны по вопросам возникновения звука в потоке и его распространения в атмосфере. Практические выводы его исследований принесли большую пользу при разработке комплексов обнаружения вражеских самолетов.

В предисловии к книге Д.И.Блохинцев пишет: "Практические проблемы, вызванные Великой Отечественной войной, порождали проблемы теоретические ... В акустике интересы сосредоточивались вокруг проб-

лем распространения звука в неоднородной и движущейся среде, так как именно такие среды представляют собой атмосфера, вода морей и рек; а также вокруг проблем и задач, связанных с движущимися источниками и приемниками звука. Эти проблемы являются смежными: они лежат на границе между акустикой и гидродинамикой в широком смысле слова.

Между тем выяснилось, что именно эти стороны дела либо слабо разработаны теоретически и экспериментально, либо мало популярны среди акустиков".

Здесь в нескольких фразах Д.И.Блохинцева четко сформулированы роль и место будущей аэроакустики и состояние ее как науки в пятидесятые годы.

Книга сразу получила широкую известность у нас и за рубежом, она была переведена и издана в США и стала библиографической редкостью.

Книга не потеряла своей актуальности и сейчас, она широко используется специалистами в практической деятельности. Поэтому по предложению Центрального аэрогидродинамического института имени проф.Н.Е.Жуковского, сотрудником которого в молодые годы был Д.И.Блохинцев и о чем он сохранил самые приятные воспоминания, в 1981 г., через 35 лет после выхода в свет первого издания книги, она была переиздана в СССР в издательстве "Наука". В предисловии ко второму изданию академик Г.П.Свищев пишет: "Учитывая, что книга Д.И.Блохинцева не потеряла своей актуальности сейчас, и выводы ее широко будут использоваться специалистами в практической деятельности, было решено, исправив замеченные опечатки, переиздать ее без изменения, как одну из фундаментальных работ в области аэроакустики".

Книга Д.И.Блохинцева вошла в золотой фонд мировой науки, стала классикой!

В книге впервые изложены теоретические основы акустики движущейся среды, распространения звука в атмосфере, рассмотрены вопросы работы приемников звука в потоке движущейся среды, возбуждения резонаторов потоком, излучения звука телом, движущимся со сверхзвуковой скоростью.

Д.И.Блохинцев впервые получил конвективное волновое уравнение, описывающее распространение звука в неоднородном потоке идеальной среды, которое сегодня в аэроакустике называется уравнением Блохинцева:

$$\left\{ \frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{c^2} \frac{D}{Dt} \right) - \frac{1}{c^2} \frac{Dv_i}{Dt} \frac{\partial}{\partial x_i} - \nabla^2 \right\} \phi = 0, \quad (I)$$

где $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_i \frac{\partial}{\partial x_i}$, $c^2 = c_0^2 - \frac{\gamma-1}{2} V^2$, $\gamma = c_p/c_v$,

φ — потенциал акустических возмущений, $\dot{\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial t}$,
 c — скорость распространения малых возмущений в среде,
 \vec{V} — скорость основного потока, v_i — ее компоненты,
 x_i — координаты.

В отличие от волнового уравнения Даламбера, описывающего распространение звуковых волн в неподвижной среде, уравнение Блохинцева указывает на взаимодействие возмущений с основным потоком даже в линейризованном виде.

С помощью этого уравнения Д.И.Блохинцевым и его последователями рассмотрен ряд задач акустики неоднородной движущейся среды. В настоящее время с помощью этого уравнения получены важные результаты при решении задач о распространении звука в каналах с потоком. Особенно актуальным это оказалось в связи с проблемой снижения шума пассажирских самолетов на местности. На базе уравнения Блохинцева удалось сформулировать принципы оптимизации параметров глушителей шума силовых установок самолетов, которые получили широкое практическое применение при создании нового поколения малолучных пассажирских самолетов.

Д.И.Блохинцевым была решена задача о распространении звука над земной поверхностью при наличии ветра, ему принадлежат также первые работы о распространении звука в турбулентной атмосфере.

Д.И.Блохинцев был первым, кто обобщил результаты классической геометрической акустики на случай неоднородной движущейся среды. На базе этого обобщения он впервые получил правильное выражение для плотности потока звуковой энергии в движущейся среде. Блохинцеву удалось с более общих позиций решить весьма актуальную для того времени задачу о шуме воздушных винтов самолетов. Эти результаты не утратили своей ценности до настоящего времени. Особенно они стали актуальными сейчас в связи с проблемой создания малолучных многолопастных винтов для нового поколения пассажирских винтовых самолетов и вертолетов.

Труды Д.И.Блохинцева стали отправным пунктом в развитии современной теории аэродинамической генерации звука, которая базируется на неоднородном аналоге упомянутого выше уравнения Блохинцева:

$$\left\{ \frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{c^2} \frac{D}{Dt} \right) - \frac{1}{c^2} \frac{Dv_i}{Dt} \frac{\partial}{\partial x_i} - \nabla^2 \right\} B = \text{div} \left\{ \left[\vec{\Omega} \times \vec{V} \right] - T \nabla S \right\} -$$

$$- \frac{1}{c^2} \frac{D\vec{V}}{Dt} \left\{ \left[\vec{\Omega} \times \vec{V} \right] - T \nabla S \right\} - \frac{1}{c_p} \left\{ \frac{1}{\gamma-1} \frac{D^2 S}{Dt^2} + \frac{\partial}{\partial t} \frac{DS}{Dt} \right\}, \quad (2)$$

где B — энтальпия торможения,

S — энтропия,

$\vec{\Omega}$ — завихренность, \vec{V} — скорость, T — температура.

Отметим, что в левой части этого уравнения стоит по форме тот же самый волновой оператор, что и в уравнении Блохинцева (1), однако теперь он действует на энтальпию торможения B — термодинамическую величину, которая играет роль основной акустической переменной и через нее достаточно просто выражаются акустические давление и скорость. Таким образом, левая часть этого уравнения описывает распространение звука в неоднородном потоке, а правая часть, зависящая от завихренности и градиентов энтропии, отождествляется с источниками звука, порождаемыми самим потоком.

При определенных условиях нестационарный поток жидкости или газа сам является источником звука. Образование вихрей и их нестационарное движение в неоднородном поле течения, которое имеет место при обтекании тел, а также при истечении в покоящуюся или движущуюся среду, является основной причиной генерации звука. Процесс образования вихрей непосредственно связан с вязкостью среды и теплопроводностью.

Сложные и далеко не понятные до сих пор явления, которые называются турбулентностью, происходящие в пограничных слоях около обтекаемых тел или в свободных слоях смешения, приводят к непрерывной генерации вихрей и к турбулизации потока. Это ведет к установлению такого состояния среды, при котором имеется нестационарный завихренный поток.

Вследствие сжимаемости среды часть энергии этого нестационарного потока излучается в виде акустических волн.

С точки зрения аэродинамической генерации звука важную роль играют также тепловые процессы, протекающие в потоках.

Энтропийные неоднородности, с одной стороны, индуцируют дополнительную завихренность и, с другой, непосредственно генерируют звук.

Уравнение (2), именуемое в настоящее время уравнением Блохинцева-Хоу, является основным в современной теории аэродинамической генерации звука. Используя это уравнение, удалось рассмотреть и решить ряд довольно трудных задач генерации звука вихревым движением сплошной среды.

Уравнение Блохинцева-Хоу дополняется уравнением Гельмгольца для завихренности и уравнением баланса энтропии.

В современной аэроакустике на основе анализа этой системы уравнений сформулировано фундаментальное представление о том, что всякое нестационарное движение газа есть суперпозиция трех видов или компонент движения: акустического потенциального или волнового, вихревого и теплового. В силу нелинейности уравнений компоненты движения взаимодействуют между собой, приводя к взаимопревращению движений.

Другими словами, сущность этого представления состоит в том, что все разнообразие наблюдаемых при нестационарном движении газа явлений можно представить в виде взаимодействия акустической, вихревой и энтропийной компонент движения.

Если рассматривать нестационарное движение как малое возмущение относительно однородного стационарного основного движения среды и провести линеаризацию указанной системы, то полученные линейные уравнения для потенциала возмущения, завихренности и энтропии становятся независимыми, что означает отсутствие взаимодействия между основными компонентами.

В этой связи следует сказать, что Д.И.Блохинцев еще до 1946 года, рассматривая задачу о работе приемника звука, движущегося со сверхзвуковой скоростью, а следовательно, о физических характеристиках звуковой волны, прошедшей через ударную головную волну, обнаружил, что за ударной волной, помимо усиленной по амплитуде акустической волны, распространяется волна, в которой имеет место изменение энтропии и плотности, но нет изменения давления. Эта волна, переносящаяся со скоростью среды, была им названа энтропийной. Таким образом, им были обнаружены две из трех компонент движения на 12 лет ранее публикаций по этому вопросу за рубежом.

В последние годы жизни Д.И.Блохинцев возвратился к проблемам аэроакустики и решил переработать и переиздать книгу с учетом последних достижений в этой области. Он был полон творческих сил и энергии.

Зная Д.И.Блохинцева, мы были вправе ждать от него новых оригинальных решений, новых фундаментальных открытий. Но неумолимые законы природы не дали возможности завершить задуманное.

Имя Д.И.Блохинцева - пионера аэроакустики - навсегда будет внесено в историю советской науки и техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Н.Н., Русаков И.Г. Акустика движущейся среды, ГТТИ, 1934.
2. Гутин Л.Я. О звуковом поле вращающегося винта, ЖТФ, т.6, вып.5, 1936.
3. Ддин Е.Я. О вихревом шуме вращающихся стержней, ЖТФ, 14, вып.9, 1944.
4. Мунин А.Г., Кузнецов В.М., Леонтьев Е.А. Аэродинамические источники шума, "Машиностроение", М., 1981.

В 1981 году вышла в свет вторым изданием книга Д.И.Блохинцева "Акустика неоднородной движущейся среды".

Первое издание этой книги появилось в 1946 году сразу же после окончания Великой Отечественной войны. Итак, второе издание - через 35 лет после первого, а если еще учесть, что оно ничем не отличается от первого, то сам по себе этот факт говорит о том, что книга обладает устойчивостью, благодаря которой она выдержала испытание временем. И каким временем! Временем бурного развития науки и техники, когда многие публикации, статьи и книги нередко устаревают в процессе их издания. Такое долгожителство - удел фундаментальных работ.

Интересна судьба этой книги. Основные ее результаты получены автором в годы Великой Отечественной войны, в период 1942 - 1945 гг., когда многие выдающиеся советские физики работали над проблемами обороны страны. Так, широко известны работы А.П.Александрова и И.В.Курчатова по защите советских кораблей от немецких магнитных мин. Д.И.Блохинцев в книге, выпущенной после войны, обобщил свои работы, связанные с проблемами обнаружения самолетов по их шуму с помощью так называемых звукоулавливателей.

Назначением книги определен круг рассматриваемых теоретических задач и экспериментальных исследований. Выбранные задачи касались двух аспектов: с одной стороны, механизма генерирования шума, с другой - методов и средств его приема. Сюда относятся, в частности, такие вопросы, как излучение звука пропеллером, распространение звука в турбулентной среде, возбуждение резонаторов потоком и методы снижения такого возбуждения, ветрозащита приемников звука от крупно- и мелкомасштабных флуктуаций набегающего потока, и ряд других.

Однако уже к концу войны, с развитием радиолокационных средств обнаружения воздушных целей, акустические методы стали техническим анахронизмом. Поэтому вышедшая в 1946 году книга Д.И.Блохинцева имела, как казалось, лишь ретроспективное значение. Все без исключения специалисты отдавали должное ее высокому теоретическому уровню, однако многие не усматривали возможности для ее дальнейшего практического применения. Очень скоро, буквально в начале 50-х годов, в связи с бурным ростом скоростей реактивной авиации, сопровождающимся столь же интенсивным увеличением так называемого аэродинамического шума, интерес к работе Д.И.Блохинцева стал возрастать; обнаружилась исключительная научная перспективность изложенных в ней взглядов.

*) Газета "Дубна - наука, сотрудничество, прогресс", № 29 от 28 июля 1982 г.

Можно без преувеличения сказать, что в период с 1950 года и по настоящее время ни одна отечественная или зарубежная работа в области физики шума турбулентного пограничного слоя, возникающего на фюзеляжах современных реактивных лайнеров, или шума реактивных струй их двигателей не обходится без ссылок на книгу Д.И.Блохинцева. Для примера укажем, что общетеоретический раздел одной из последних обобщающих работ этого направления (Аэроакустика, Мэрвин Е. Голдстейн, перевод с английского, "Машиностроение", М., 1981) построен в форме развития положений работы Д.И.Блохинцева.

Интересен следующий факт. Автор этих строк обратил в 1978 году внимание Д.И.Блохинцева на отмеченную особенность судьбы его книги. Дмитрий Иванович сказал, что, как ему казалось, книга всеми давно позабыта, а сам он о ней если и вспоминает, то с чувством ностальгии по своей научной молодости. Он попросил подготовить ему список работ, в которых делаются ссылки на его книгу. На это я ответил, что придется переписать обширную картотеку, насчитывающую много сотен (!) наименований. Тогда же возникла идея переиздать книгу в дополненном и расширенном варианте.

В чем же, на наш взгляд, значение книги Д.И.Блохинцева? Прежде всего, в ее фундаментальности, глубокой идейной насыщенности, в постановке ряда проблем, над решением которых будет, вероятно, трудиться еще не одно поколение специалистов, в том, наконец, что, как всякая по-настоящему глубокая теоретическая работа, она сама по себе стала со временем источником многих прикладных научных ответвлений.

Размеры газетной статьи не позволяют проиллюстрировать сказанное многими примерами. Остановлюсь на одном. Дмитрий Иванович ввел чрезвычайно плодотворное понятие о псевдозвуке как явлении, обладающем формальными признаками звука, но не связанном со сжимаемостью среды, а потому не являющимся акустическим процессом. В отдельных своих проявлениях псевдозвук отождествляется с волнами Рэлея или с френелевской зоной излучения в электродинамике (хотя и не сводится к этим явлениям). Развивая этот вопрос, Дмитрий Иванович сформулировал теорему, определяющую условие, необходимое и достаточное для генерирования звука при движении тела в жидкость или при движении самой жидкости. И хотя в формулировке этих условий нет прямого упоминания об аналогии между генерированием звука движущимся телом и генерированием электромагнитного излучения движущимися заряженными элементарными частицами, однако дальнейшее развитие этого вопроса привело к выводу, что в основе всякого излучения, в том числе акустического, лежат явления, аналогичные эффекту Вавилова-Черенкова.

При этом для генерирования звука совершенно не обязательно наличие физической сверхзвуковой скорости, достаточно, чтобы в спектре фазовых скоростей была компонента со скоростью больше скорости звука, или скорости изгибных колебаний в данной материальной среде. Так идеи Д.И.Блохинцева, подчеркнув единство физических представлений аэродинамики, акустики и электродинамики, положили начало весьма плодотворной, акустико-электродинамической аналогии. Приведенный пример вместе с тем иллюстрирует то, как классические результаты фундаментальных наук (в силу своей фундаментальности) становятся основой технических приложений.

В предисловии ко второму изданию книги Д.И.Блохинцева в качестве объяснения ее переиздания сказано, что она "не потеряла своей актуальности". Представляется, что по отношению к рассматриваемой книге термин "Актуальность" не исчерпывает существа вопроса. Книга Д.И.Блохинцева - это классика большого интенсивно развивающегося раздела физики, и содержащиеся в ней идеи стали человеческим знанием.

Перенесемся мысленно на 25 лет назад, в 1957 год. Для Дмитрия Ивановича куда-то в сторону отошли заботы, связанные с Великой эпопеей приручения грозного атома. Вот уже четыре года он исправно трудится в Обнинске. Позади и его первый выезд за рубеж, в Женеву, на первую конференцию по мирному использованию атомной энергии, где доклад о Первой атомной стал центральным докладом конференции. Вырос и окреп ФЭИ, превратившись в ведущий институт по проектированию атомных электростанций.

Атомная энергетика стала инженерной наукой, а Дмитрия Ивановича манил передовой край, физика элементарных частиц, где проводились первые опыты по изучению их внутренней структуры, создавались первые модели их строения.

Именно по этой причине он без колебаний принял предложение Игоря Васильевича Курчатова возглавить международный центр ядерных исследований социалистических стран, создаваемый на базе двух лабораторий в Дубне, и единогласно был избран его первым директором.

На новом месте его обступили и стали требовать выхода мысли, которые все эти годы заботы отесняли на задний план. Может быть, поэтому 1957 г. стал для Дмитрия Ивановича одним из наиболее плодотворных.

Одна за другой выходят его работы: "О применимости гидродинамического описания квантовых систем", "О возможном пределе применимости квантовой электродинамики", "Когда слабое взаимодействие становится сильным" и "К физике нейтрино высоких энергий", обзор "Нелокальные и нелинейные теории" и примыкающая к ней работа "Всегда ли есть дуальность волны и частицы?", серия работ о структуре нуклона и, наконец, небольшая заметка (всего 4 страницы!) "О флуктуациях плотности ядерного вещества" ^{/1/}, в которой он (может быть, сам того не подозревая) заложил основы нового направления, которое сейчас называют релятивистской ядерной физикой. Ее предмет — жесткие процессы с участием ядер и ядерные силы на расстояниях, сравнимых с размером нуклона.

Все началось с двух экспериментальных наблюдений, выполненных в том же году группой М.Г.Мещерякова. Г.А.Лексин ^{/2/} (в то время аспирант Мещерякова), изучая упругое рассеяние протонов на дейтронах, обнаружил необычайно большое сечение рассеяния на большие углы в системе ц.м. ($> 90^\circ$), что никак не вязалось с представлением о дейтроне как о "рыхлой" системе, не способной воспринимать достаточно

большие передачи импульса. Одновременно группой Мещерякова ^{/3/} было обнаружено необычно большое квазиупругое выбивание быстрыми протонами (≈ 700 МэВ) дейтронов из легких ядер (He, Li, O). "Это казалось столь же невозможным, — писал впоследствии Дмитрий Иванович, — как и пуле выбить окно, вместо того, чтобы пробить маленькую дырочку". Конечно, в то время уже была хорошо известна кластерная гипотеза строения ядер (еще в период работы Д.И.Блохинцева в Обнинске его аспирант В.Г.Неудачин проводит расчеты по кластерному разложению). Однако для того, чтобы выбить такой кластер, необходимо, чтобы нуклоны в нем сблизались на расстояние порядка $\hbar/\Delta p_{\text{центр}}$, что было меньше размеров нуклона ($\lesssim 10^{-13}$ см). Расчеты вероятности образования таких плотных флуктуаций ядерной материи, проведенные Д.И.Блохинцевым с использованием перекрытия одночастичных функций распределения, объясняли порядок величины эффекта. Однако, в принципе, оставались и другие возможности объяснения, например, "сжатие" ядерного вещества налетающим протоном. Впоследствии Дмитрий Иванович вновь обратился к этой теме в своей работе с К.А.Токтаровым ^{/5/}. В 1966 году Г.А.Лексин ^{/6/} сделал попытку обнаружить пики квазиупругого рассеяния на таких сверхплотных образованиях в импульсном распределении вылетающих назад протонов отдачи. Вместо пиков, однако, он получил гладкий спектр аномально большого числа вылетающих назад протонов. Как мы сейчас понимаем, это были первые кумулятивные протоны.

Сознательное изучение кумулятивных явлений как явлений рождения в инклюзивном процессе $B+A=C+X$ на ядре А вторичных частиц С за пределами кинематической области, достижимой при соударении с одним неподвижным нуклоном ядра, началось с теоретического предсказания их А.М.Балдиным ^{/7/} в 1971 году и экспериментального обнаружения группой В.С.Ставинского ^{/8/} быстрых π -мезонов с импульсом 9 ГэВ/с, рожденных при соударении ядер дейтерия с импульсом 5 ГэВ/нуклон с ядрами меди.

Необычность (точнее, непривычность) этого явления иллюстрирует следующий пример. Представьте, что мотоциклист со скоростью 60 км/ч налетает на столб и остается цел и невредим, но зато шлем, слетевший с его головы, продолжает движение со скоростью 600 км/ч, вобрав в себя почти всю энергию мотоциклиста! Невозможно? Но законам механики это не противоречит. Просто такое явление невероятно для электромагнитных сил, лежащих в основе молекулярных связей. Для ядер же оно, как уже говорилось, было обнаружено экспериментально.

Позднее была высказана гипотеза о том, что причиной кумулятивных частиц, так же как и квазиупругих дейтронов, являются флуконы Д.И.Блохинцева.

Начавшееся с тех пор детальное изучение этого явления открыло много интересного (см., например, обзоры /9-13/):

А. Так называемый "ядерный скейлинг", т.е. независимость (точнее, слабая зависимость) сечений кумулятивных процессов от энергии почти такая же, как и при соударении элементарных частиц;

Б. Универсальность формы спектра всех кумулятивных частиц: легких ядер, нуклонов, мезонов, γ -квантов и даже лептонов, независимо от природы налетающей частицы и сорта ядра - везде было найдено приближенно экспоненциальное падение с ростом безразмерной переменной $x = \frac{\epsilon - p \cos \theta}{m_N}$ (где ϵ, p, θ - энергия, импульс и угол вылета кумулятивной частицы в системе покоя ядра А)

$$dG \sim \exp\{-x/\langle x \rangle\}$$

с одним и тем же параметром $\langle x \rangle \approx 0,15$ (рис.1). Особая роль здесь принадлежит эксперименту NA-4 по глубоконеупругому рассеянию мюона на углероде в кумулятивной области, где беркеновская переменная $x_B > 1$, и особенно тому факту, что и здесь форма спектра оказалась такой же, как и для кумулятивных адронов. Все это указывает на единый источник, некий универсальный объект, находящийся в ядре.

В. Специфическая А-зависимость сечения, которое для тяжелых ядер выходит на

$$dG \sim A$$

(см. рис.2), что указывает на локальный характер этого объекта. (Хотя более сильная А-зависимость для легких ядер пока не очень понятна).

Г. Отношение выходов кумулятивных мезонов $\pi^+ : \pi^- : K^+ : K^- \approx 1:1:1:50$, что явно указывает на кварковую природу этого объекта.

Конечно, кроме флуктонной гипотезы в качестве основной причины происхождения кумулятивных частиц было предложено много других, как более простых, так и более сложных, однако под натиском фактов они постепенно переходили из разряда претендентов в разряд возможных поправок. Так, для ферми-движения нуклонов в ядре слишком малым оказался наклон экспоненциального спада. Трудно также объяснить подобие кумулятивных спектров из легких и тяжелых ядер. Для многократного рассеяния трудно получить $dG \sim A$ (оно явно нелокально) и совершенно невозможно объяснить кумулятивные лептоны в глубоконеупругом рассеянии лептонов на ядрах. То же самое можно сказать и о механизмах гидродинамического или статистического типа, когда многонуклонное уплотнение в ядре создается налетающей частицей, а также о механиз-

ме когерентной трубки. Так что сейчас флуктонный механизм и его модификации (например, малонуклонная импульсная корреляция) являются монополистами в объяснении кумулятивных явлений.

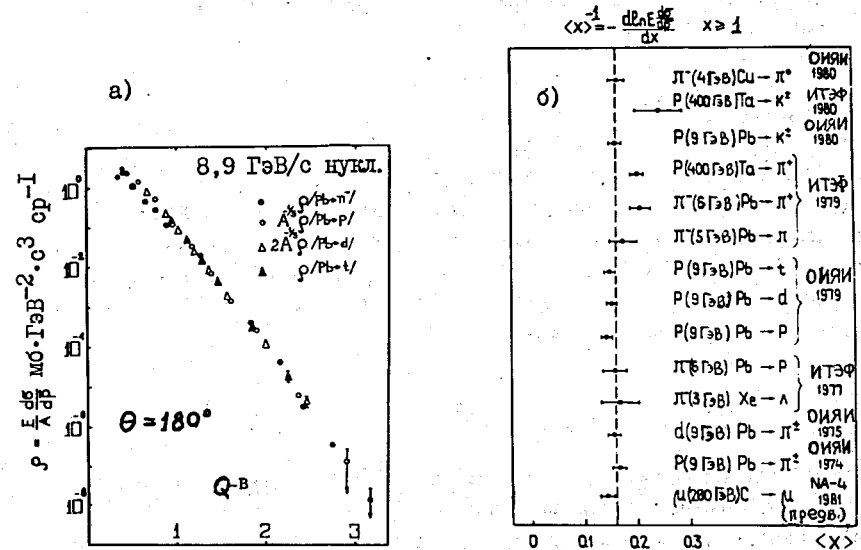


Рис.1. Универсальность формы спектра кумулятивных частиц.

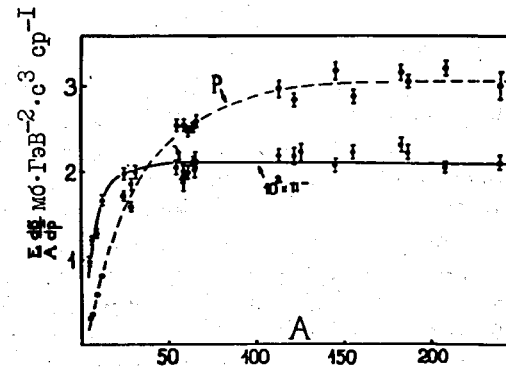


Рис.2. А-зависимость кумулятивных сечений.

Предположение о том, что кумулятивные явления управляются кварк-партонной структурной функцией флюктов как многокварковых бесцветных образований, было высказано в 1976 году /14,15/. При этом структурная функция ядра выражается через структурные функции флюктов

$$F_A(x) = \sum_{k=1}^A P(k,A) q_k\left(\frac{x}{k}\right), \quad (I)$$

где q_k - структурная функция k -нуклонного флюктона, зависящая от доли полного импульса на нуклон ($1 < x < k$), уносимого одним кварком, а $P(k,A)$ - среднее число таких флюктов в ядре. Поскольку во всех случаях проявления флюктов речь идет о процессах с большой передачей импульса (≥ 1 ГэВ), допустимо пренебрежение энергией связи нуклона в ядре и оценка этого числа по формуле флюктуаций в однородном разреженном газе

$$P(k,A) = \left(\frac{V_\phi}{V_A}\right)^{k-1} \left(1 - \frac{V_\phi}{V_A}\right)^{A-k} C_k^A$$

(или несколько более сложной формулой /13/, учитывающей неоднородное распределение нуклонов), где V_A и V_ϕ - объемы ядра и флюктона (ожидается, что его размер будет порядка размера элементарной частицы, т.е. ≤ 1 фм).

Если, как и при фрагментации в адрон-адронных соударениях

$$dG_{\text{кумуля}} \sim F_A(x),$$

то характер спектра кумулятивных частиц определяется характером поведения q_k вблизи $x \sim k$

$$q_k \sim \left(1 - \frac{x}{k}\right)^{n_k}$$

Оценка методом перевала /13/ суммы (I) показывает, что обеспечение необходимой величины наклона $\langle x \rangle^{-1}$ требуется, чтобы n_k росло с ростом k примерно как $2k$, т.е. значительно медленнее, чем это требуется правилами счета пассивных кварков ($n_k \sim 6k$). Это можно интерпретировать следующим образом. Известно, что любое бесцветное образование $3k$ кварков можно представить как некую антисимметризованную комбинацию k бесцветных троек (см., например, рис.3а). В жестком процессе (рис.3б) активизируется (выбивается) кварк лишь одной тройки. Остальные же тройки, играя роль зрителей, не возбуждаются и выглядят как точечные частицы (наподобие молекулы многоатомного газа при низкой температуре). Таким образом, точечных

пассивных объектов оказывается не $3k-1$, а всего лишь $k+1$, что и приводит к требуемому поведению.

Эти простые соображения подтверждаются и более сложными расчетами в пертурбативной КХД /16/ (хотя ее применимость в этой области может вызывать сомнения). На рис.4 представлен также пример сравнения с экспериментом /17/ численных расчетов структурной функции углерода /18/.

В области же малых значений x/k , где масса, в которую фрагментирует пассивный остаток флюктона, достаточно велика ($\sim Q^2(1-x/k)$), из-за взаимодействия с "межнуклонным" морем во флюконе (рис.3б),

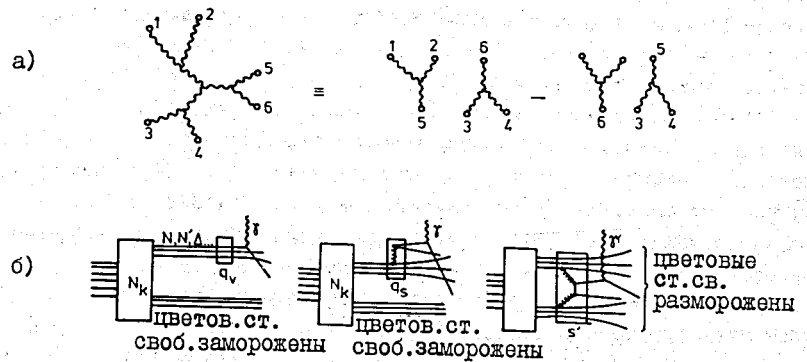


Рис.3. а) Представление бесцветной 6-кварковой конфигурации как антисимметризованного произведения двух бесцветных троек. б) Глубоконеупругое рассеяние на флюконе.

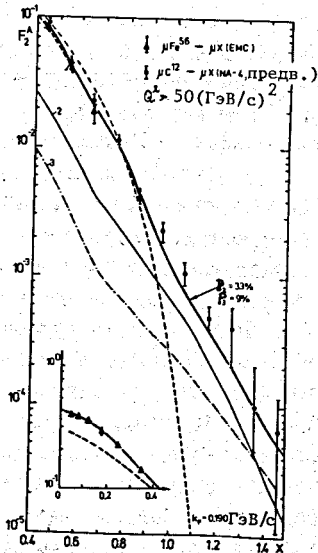


Рис.4. Сравнение структурной функции углерода в модели флюктов с экспериментальными данными группы А-4.

могут "размораживаться" степени свободы пассивных флюктонов. Возможно, что именно в этом заключается причина странного, на первый взгляд, поведения отношения структурных функций на железе и дейтерии, обнаруженного Европейской мюонной коллаборацией в ЦЕРНе /19/.

Дальнейшее изучение глубоконеупругого рассеяния должно включать уточнение данных на ядрах в широком диапазоне атомных номеров как в области $X > 1$, так и в области малых X . Много интересного можно также ожидать и от корреляционных измерений в глубоконеупругом рассеянии, особенно в изучении свойств протонов в области фрагментации мивени.

В отличие от глубоконеупругого процесса, в котором механизм образования кумулятивных лептонов хорошо известен, — это жесткое рассеяние лептона на кварке — механизм образования кумулятивных адронов — пока не очень ясен. Так, для механизма фрагментации трудно объяснить слишком большой выход K^- -мезонов, которые в этом случае могут образоваться только из фрагментации моря флюктонов, а оно в области $X \geq 1$ довольно сильно подавлено. Трудность представляет также поведение спектра с ростом поперечного импульса, т.к. оно сильно отличается от аналогичной зависимости при фрагментации нуклона, и аномально большая ($\approx 100\%$) поляризация кумулятивных Λ^- -частиц. С другой стороны, механизм жесткого рассеяния кварков встречается с трудностью в объяснении наклона спектра кумулятивных частиц, т.к. на убывание структурной функции ядра $F(x)$ с ростом x накладывается дополнительное убывание типа x^{-8} , связанное с падением сечения кварк-кваркового рассеяния (аналог $(d\sigma/dt)_{qq} \sim p_T^{-8}$). Скорее всего в образовании кумулятивных частиц работают несколько механизмов с разной долей вероятности для разных частиц. Исследование этих вопросов еще продолжается. Именно им был посвящен последний доклад Д.И.Блохинцева на конференции в Токио в 1978 году /20/.

В коротком докладе трудно обзреть все аспекты релятивистской ядерной физики. В частности, роли флюктонов в эффекте нарушения Р-четности в ядрах посвящена статья В.М.Дубовика в этом сборнике. Однако на одном из них — проблеме отталкивающей сердцевин ("кора") ядерных сил мне бы хотелось остановиться более детально.

Полученный из нуклон-нуклонного рассеяния феноменологический потенциал $V(r, l, \epsilon, \tau)$ на больших расстояниях хорошо описывается эквивалентными силами, вызванными обменом пионом, однако на расстояниях происходит изменение характера ядерных сил: из притягивающих они становятся отталкивающими. Существует немало способов феноменологического описания этого явления за счет обмена большим числом бозонов, содержащих большое количество (до 40 штук) параметров. Однако истинная природа ядерного кора в значительной степени оставалась загадкой.

Первые соображения о том, что причиной кора являются связанные многокварковые состояния в ядрах, появились в 1977 году /21,22/. (Эти вопросы неоднократно обсуждались с Дмитрием Ивановичем). Они предполагали наличие дальнедействующих кварк-кварковых сил, а кор имитировался узлом волновой функции шести кварков в состоянии $s^4 p^2$. Однако такой адиабатический подход встречает трудности с насыщением энергии связи. Другой подход /24,25/ связан с представлением о непроницаемом мешке, в котором находится шестикварковое состояние, имеющее по этой причине дискретный спектр состояний ψ_v^q с энергией E_v . В этом подходе волновая функция состояния складывается из двух почти ортогональных частей (кварковой и адронной), задача приобретает двухканальный характер, а потенциал в уравнении Шредингера становится матрицей 2×2 . Исключение кваркового канала приводит к потенциалу

$$V = V_{hh} + V_{hqh},$$

где последнее слагаемое зависит от энергии

$$V_{hqh} = \sum_v \frac{(V_{hq} \psi_v^q)(\psi_v^q V_{qh})}{E - E_v}$$

и, по всей вероятности, сосредоточено вблизи поверхности мешка ($r = b$), так как

$$\left. \begin{array}{l} \psi_v^q \approx 0 \quad r > b \\ V_{hq} \approx 0 \quad r < b \end{array} \right\} \sim (V_{hq} \psi_v^q) = C_v \delta(r - b).$$

Таким образом, взаимодействие через многокварковое состояние приводит к отталкивающему кору ядерных сил. Интересно, что при таком подходе многокварковые состояния могут и не проявляться как полюса S -матрицы, а являются полюсами т.н. P -матрицы /25/. Учитывая лишь один такой шестикварковый полюс, удалось получить прекрасное описание S -фаз NN -рассеяния. Впрочем, здесь также имеются проблемы, вызванные наличием в P -матрице нефизических полюсов, связанных с резким краем мешка.

Релятивистская ядерная физика, рожденная на стыке двух наук — физики ядра и физики элементарных частиц — делает свои первые шаги, и мы вправе ожидать от нее новых больших открытий, которые прольют новый свет как на микроскопическую структуру ядер, так и, используя ядро как анализирующий прибор, на вопросы, связанные с выяснением механизма самого загадочного явления в истории физики — удержания цвета.

Литература

1. Блохинцев Д.И. ЖЭТФ, 1957, 37, с.1295.
2. Лексин Г.А. ЖЭТФ, 1957, 32, с.445.
3. Ажгирей Л.С. и др. ЖЭТФ, 1957, 33, с.1185.
4. В.И.Комаров. См.статья в настоящем сборнике.
5. Банков Д.Д. и др. Изв. АН СССР, 1966, сер.физ., 30, с.521.
6. Блохинцев Д.И., Токтаров К.А. Препр. ОИЯИ, P4-4018, 1968.
7. Балдин А.М. Краткие сообщ. по физике, ФИАН, 1971, 18, с.465.
8. Baldin A.M. et al. Proc.Roch.Meeting APS/ORE, N.Y., 1971, p.131; Proc. XVI Conf. on NEP, 1 (1972), 277, FNAL
9. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, 10, с.950; Proc. of Intern.Conf. on Extr.States in Nucl.Syst., Dresden 1980, v.II, p.126.
10. Baldin A.M. Progr.in part. and Nucl.Phys., 1980, 4, p.95.
11. Лукьянов В.К., Титов А.И. ЭЧАЯ, 1979, 10, с.815.
12. Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. ЭЧАЯ, 1979, II, с.571.
13. Ефремов А.В., ЭЧАЯ, 1982, 13, с.613; Progr. in part. and Nucl. Phys., 1981,
14. Ефремов А.В. ЯФ, 1976, 24, с.1208.
15. Burov V.V., Lukyanov V.K., Titov A.I. Phys.Lett., 1977, 67B, p.46.
16. Frankfurt L., Strikman M. Phys.Rep., 1981, 76, N 4.
17. Савин И.А. В сб. VI Межд.семинар по физике высоких энергий, Дубна, 1981, Д1, 2-81-728; с.223.
18. Ефремов А.В., Бондарченко Е.А. Препр. JINR E2-82-927, Dubna, 1982.
19. Aubert J.J. et al. (EMC-collab.) CERN preprint EP/83-14; Phys.Lett.
20. Blokhintsev D.I. In Proc. 19th Intern.Conf. on High Energy Phys., Tokyo, 1978, p.475.
21. Neudatchin V.G. et al. Progr.Theor.Phys., 1977, 58, p.1.
22. Kobushkin A.P. Kiev prepr. ITP-77-113E (1977).
23. Буров В.В., Лукьянов В.К., Титов А.И. Изв. АН СССР, сер.физ. 1978, 42, с.38.
24. Jaffe R.L., Shatz M.P. Препр. CALT-68-777, 1980.
25. Simonov Yu.A. Phys.Lett., 1981, B107, p.1.
26. С.М.Доркин, В.К.Лукьянов, А.И.Титов. ОИЯИ, P2-82-913, Дубна, 1982.

ФЛУКТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ Д.И.БЛОХИНЦЕВА
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ ДЛЯ ОИЯИ

В.И.Комаров

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Флуктуационная модель, предложенная Д.И.Блохинцевым^{/1/}, инициировала проведение в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ экспериментов, которые сыграли определенную роль в развитии представлений о механизме ядерных процессов при высоких передачах импульса ядру или его подструктурам.

В области промежуточных энергий ($0,1 \lesssim T_0 \lesssim 1,0$ ГэВ) значительные передачи импульса могут быть достигнуты на протонных пучках при упругом рассеянии протонов назад. Так, при энергии дубненского синхроциклотрона передача 3-импульса φ между состояниями падающего и рассеянного назад протонов достигает в упругом pd -рассеянии $7,7 \text{ Фм}^{-1}$, в $p^3\text{He}$ -рассеянии - $8,8 \text{ Фм}^{-1}$ и $9,6 \text{ Фм}^{-1}$ для $p^4\text{He}$ -рассеяния. В рамках исходного варианта флуктуационной модели, когда процесс рассеяния рассматривался как результат "обратного рассеяния" инициирующей частицы на флуктуации плотности ядерного вещества, именно эта величина представлялась определяющей размеры области взаимодействия, и, следовательно, можно было рассчитывать на получение информации о свойствах малонуклонных систем, флуктуационно сжатых в объеме порядка объема нуклонного кора. В связи с этим в 60 годах в Лаборатории ядерных проблем исследовалось упругое рассеяние протонов назад ядрами ^2H , ^3He , ^4He , ^6Li ^{/2/}. К этому времени дифференциальные сечения рассеяния на ядрах тяжелее дейтрона были известны лишь в области малых углов, и какое-либо представление о масштабе сечений рассеяния назад полностью отсутствовало. Эксперименты ЛЯЦ дали общую картину дифференциальных сечений упругого протон-ядерного рассеяния на углы, близкие к 180° , при промежуточных энергиях. Было установлено, что сечения падают с ростом начальной энергии от $0,1$ ГэВ до $0,7$ ГэВ, и скорость такого падения тем выше, чем больше массовое число ядра-мишени. Эта картина, как было показано в работе^{/3/}, качественно воспроизводится флуктуационной^{/4/} моделью. При этом авторы следовали формулам работы Д.И.Блохинцева, а для оценки вероятности попадания нескольких нуклонов ядра в малый объем использовали интегрирование по коллективной переменной

$\rho = (\sum_i r_i^2)^{1/2}$, введенной Д.А.Симоновым^{/5/} для вычисления ядерных волновых функций методом K -гармоник. Однако в той же работе^{/3/} было отмечено, что описание данных в указанных представлениях требует знания волновых функций в области очень малых значений $\rho \approx 0,1-0,3$ Фм, т.е. в той области, где волновые функции могут быть оценены только экстраполяцией ρ к нулю и не определяются из других экспериментов. Это обстоятельство стимулировало в Лаборатории дальнейшие исследования механизма упругого протон-ядерного рассеяния на углы, близкие к 180° .

Наиболее существенный результат дало измерение энергетической зависимости упругого pd -рассеяния назад в области $360-670$ МэВ^{/6/}. Выяснилось, что в отличие от соседних энергетических интервалов, где сечение быстро падает с ростом энергии, в интервале $400-600$ МэВ оно остается практически постоянным. Аномалия энергетической зависимости сечения в этой области была предсказана в 1969 году Креджи и Уилкинсом^{/7/} при учете возбуждения $\Delta(3/2, 3/2)$ изобары в промежуточном состоянии процесса. Наблюдение этой аномалии, по-существу, впервые, отчетливо продемонстрировало роль возбуждения внутринуклонных степеней свободы в процессах упругого адрон-ядерного рассеяния при высоких передачах импульса. Оно показало, что в определенных кинематических условиях неупругие процессы в промежуточных состояниях являются доминирующим фактором при передаче высокого импульса малонуклонным системам. (Эти представления в дальнейшем были подтверждены в целом ряде теоретических и экспериментальных работ). Существенно, что описание процесса обязательно включает в себя перерассеяние конститuentов (нуклонов, мезонов, барионных и мезонных резонансов) в промежуточных состояниях. Как перерассеяния, так и неупругость промежуточных процессов снижают значения импульса нуклонов основного состояния ядра-мишени, которые дают вклад в сечение процесса. Тем самым снижаются и "требования" на линейные размеры флуктуации плотности. Грубо говоря, масштаб области флуктуаций, проявляющихся в упругом pd -рассеянии на 180° , задается величиной передачи импульса от падающего протона не к рассеянному назад протону, а к протону, вылетающему вперед в составе выбитого вперед ядра. Передача 3-импульса при энергии 670 МэВ в этом случае составляет $2,4$ Фм⁻¹, $3,4$ Фм⁻¹ и $4,0$ Фм⁻¹ соответственно для 2-, 3- и 4-нуклонных мишеней. В результате для описания упругого протон-ядерного рассеяния назад при средних энергиях нет необходимости "вгонять нуклоны друг в друга", и достаточными оказываются флуктуации плотности, при которых среднее межнуклонное расстояние падает от нормального значения $1,7$ Фм до расстояния порядка нуклонного радиуса, т.е. $\sim 1,0$ Фм. Тем не менее, соответствующее

локальное увеличение ядерной плотности, по современным представлениям, уже переводит ядерное вещество в состояние, по крайней мере, переходное между состояниями нуклонной фазы и кварк-глюонной фазы^{/8/}. С этой точки зрения не удивительно, что сильное взаимодействие между конститuentами (теперь уже кварками и глюонами), приводящее к их перерассеянию и глубокой перестройке исходных адронов, доминирует в обсуждаемом явлении.

В конце 60, начале 70 годов в Лаборатории ядерных проблем были проведены также эксперименты по квазиупругому выбиванию фрагментов из ядер в кинематике, близкой к кинематике упругого рассеяния протонов назад^{/9-12/}. Прежде всего, было обнаружено, что из ядер ρ -оболочки можно выбивать в такой кинематике не только дейтроны^{/13/} но и ядра ^3He , ^3H , ^4He . Сечения выбивания ядер ^3He , ^3H с энергией 530 МэВ и ^4He с энергией 470 МэВ на несколько порядков величин ниже, чем сечения выбивания дейтронов. Важно, однако, что отношения дифференциальных сечений квазиупругого выбивания фрагмента kF с массовым числом k к сечению упругого рассеяния $\rho^k F \rightarrow \rho^k F$ остаются довольно большими (порядка A/k , где A - массовое число ядра-мишени). Такой результат может иметь место, если ядро A содержит кластерные компоненты $[^kF]$ примерно с вероятностью, определяемой из оболочечной модели, а вероятность найти нужную флуктуацию плотности в кластере $[^kF]$ такова же, как и в соответствующем свободном ядре kF .

Кроме того, было показано, что в квазиупругом выбивании дейтронов повторяются основные особенности упругого pd -рассеяния назад: в угловом распределении - пик назад, в зависимости сечений от начальной энергии - характерная энергетическая зависимость сечения упругого pd -рассеяния назад. В целом все это означает, что малонуклонные группы ведут себя в процессах с большими передачами импульса качественно одинаковым образом, независимо от того, образуют ли они легчайшее ядро или входят в виде кластера в состав более тяжелого ядра.

Подчеркнем, что все перечисленные работы выполнены в ОИЯИ значительно раньше, чем были начаты аналогичные исследования в других лабораториях мира. Иницирующая роль идей Д.И.Блохинцева в проведении этих исследований несомненна. В течение длительного времени эти идеи были практически единственным стимулом и ориентиром для экспериментаторов, так как проблема взаимодействия с малонуклонными системами в условиях высоких передач импульса в то время не только не признавалась актуальной, но, за редким исключением, вообще не привлекала внимания физиков. Уместно напомнить, что еще в 60 годах Д.И.Блохин-

цев указывал на возможность проследить переход от обычного ядерного вещества к адронному веществу, исследуя взаимодействие быстрых частиц с флуктуациями плотности в атомных ядрах. В связи с обсуждением экспериментальных данных об упругом рассеянии назад протонов средней энергии легчайшими ядрами^{12/} он писал в работе 1968 года^{14/}:

"Если данные таких экспериментов превысят оценки, предсказываемые из общих принципов квантовой механики, базирующиеся на представлении о ядре как о системе взаимодействующих нуклонов, то это будет служить указанием на тот фундаментальный факт, что атомное ядро в "состоянии флуктуации"... не является сложной системой, а представляет собой одну частицу с массой A , которая, однако, быстро распадается на Z протонов и $A-Z$ нейтронов".

Все перечисленные выше процессы с необходимостью приводят к испусканию протонов с энергией в интервале 100-200 МэВ на углы, близкие к 180° , т.е. заведомо в кинематической области, запрещенной в соударении со свободным нуклоном и называемой дальше - "кинематически запрещенной областью". Более того, во всех этих процессах, в отличие от инклюзивных, однозначно определено число нуклонов в группе, которой передается высокий импульс.

Очевидным обобщением процессов квазиупругого выбивания фрагментов являются процессы такого типа, когда инициирующая частица передает кластеру в конфигурации флуктуационного сжатия значительный импульс и выбивает кластер не в связанном состоянии, а в виде группы нуклонов в непрерывном спектре. Простейшим процессом такого рода является квазисвободное выбивание протонных пар. В 1972 году в ЛЯП было предложено изучение этого процесса в кинематических условиях, близких к условиям упругого pd -рассеяния назад. При выбивании пары спектр протонов, рассеянных под определенным углом назад, в отличие от упругого pd -рассеяния, представляет уже не монохроматическую линию, а непрерывное распределение, зависящее от угловых распределений в выбиваемой паре. Поэтому постановка эксперимента по поиску выбивания протонных пар привела к измерениям спектра протонов, испускаемых из ядра в задней полусфере, под действием быстрых протонов (640 МэВ).

В этих экспериментах были исследованы инклюзивные спектры протонов, испускаемых назад, их корреляции с протонами в передней полусфере, а также эксклюзивный процесс выбивания протонных пар^{14-16/}

Было установлено, что инклюзивная эмиссия протонов назад при средних энергиях имеет много общего с такой же эмиссией при высоких начальных энергиях. Однако меньшее число возможных каналов реакции при средних энергиях допускает более простое экспериментальное вы-

деление определенных каналов, чем это можно сделать при высоких энергиях. (Подавляющее большинство данных о процессах в "кинематически запрещенной области" при высоких энергиях имеет инклюзивный характер, хотя изучаемый интервал импульсов вторичных протонов практически тот же, что и в экспериментах при средних энергиях).

Полученные данные могут быть феноменологически описаны, если допустить^{17/}, что инициирующая частица, передавая 3-импульс выше $1,5-2,0 \text{ Фм}^{-1}$ группе нуклонов, флуктуационно сближенных в ядре-мишени, с большой вероятностью вносит в такую группу энергию возбуждения выше $\sim 200 \text{ МэВ}$. Дальнейший, почти статистический, распад возбужденной группы приводит к испусканию наблюдаемых вторичных частиц. Определяющим фактором является зависимость матричного элемента процесса от передачи кластерам поперечного импульса и энергии возбуждения. Значения параметров, характеризующих эту зависимость, могут быть найдены из экспериментов и оказываются весьма близкими для различных экспериментальных условий. В частности, они практически не изменяются при возрастании начальной энергии от области промежуточных энергий до энергии 400 ГэВ. Этот факт указывает на близость механизма эмиссии в "кинематически запрещенную область" частиц определенного импульса в реакциях при различных начальных энергиях. В таком случае вывод о существенной роли перераспределения ядерных конститuentов и перестройки исходных адронов, вытекающий из анализа данных в области промежуточных энергий, следует экстраполировать и в область высоких начальных энергий.

В конечном счете это может означать, что, наблюдая в "кинематически запрещенной области" испускание частиц с энергией вплоть до нескольких сотен МэВ (в системе покоя ядра-мишени), мы изучаем не столько свойства исходного состояния ядерного вещества, сколько свойства высоковозбужденного состояния, в которое переходят под действием быстрых частиц малонуклонные системы, образующие в исходном ядре флуктуации плотности.

Сказанное выше дает некоторое представление о том, как активно работает на протяжении уже четверти века замечательная идея, предложенная Д.И.Блохинцевым в 1957 году.

Л и т е р а т у р а

1. Блохинцев Д.И., ЖЭТФ, 33 (1957), с.989.
2. Комаров В.И., Савченко О.В., ОИЯИ РИ-3720, (1968); ОИЯИ РИ-4876, (1969).

3. Комаров В.И. и др., ЯФ, 12 (1970), с.1229.
4. Блохинцев Д.И., Токтаров К.А., ОИЯИ, Р4-4018 (1968).
5. Симонов В.А., ЯФ, 7 (1968), с.1210.
6. Комаров В.И. и др., ЯФ, 16 (1972), с.242.
7. Craigie N.S., Wilkin C., Nucl.Phys., B14 (1969), p.477.
8. Баддин А.М. Релятивистская ядерная физика. В кн. "Очерки по истории развития ядерной физики в СССР". Киев, "Наукова думка", 1982 г., с.152.
9. Dzhelepor V.P. Spectra of lightest nuclei knocked out from Light Nuclei with 670 MeV protons and the Clustering Phenomenon. In: Proc. of the Third Int. Conf. on High Energy Physics and Nuclear Structure. N.Y., London: Plenum Press, 1970, p.278.
10. Azhgirei L.S. e.a., Nucl.Phys., A195 (1972), p.581.
11. Комаров В.И. и др., ЯФ, 11 (1970), с.711.
12. Komarov V.I. e.a., Nucl.Phys., A256, (1976), p.362.
13. Азгирей Л.С. и др., ЖЭТФ, 33 (1957), с.1185.
14. Komarov V.I. e.a., Nucl.Phys., A326 (1979), p.297.
15. Komarov V.I. e.a., Phys.Lett., 80B (1978), p.30.
16. Комаров В.И. и др. ЯФ, 32 (1980), с.1476.
17. Комаров В.И., Мюллер Г. Письма в ЖЭТФ, 29 (1979), с.501, ОИЯИ Р1-677 (1980); ОИЯИ Д4-80-385 (1980), с.337.

О РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДАХ К НЕСОХРАНЕНИЮ ЧЕТНОСТИ
В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ $\bar{p}p$ -РАССЕЯНИИ

В.М.Дубовик, И.Т.Обуховский

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В последние годы с появлением информации о несохранении четности (НЧ) в малонуклонных реакциях, прежде всего в $\bar{p}p$ -рассеянии ^{/1,2/}, наступил новый этап исследований в данной области. Попытки понять кварковую природу ядерных сил привели к тому, что извлекаемому из этих экспериментов информации мы можем интерпретировать с помощью моделей взаимодействий кварков с минимальным привлечением феноменологического описания на уровне нуклонов.

Картину НЧ в NN -взаимодействиях можно детализировать следующим образом. В реакциях с изменением изоспина $\Delta T=1$ НЧ эффекты успешно описываются вкладами нейтральных токов стандартной модели $SU(2)_L \otimes U(1) \times SU(3)_C$ в кварковую диаграмму πNN -вершины. Из-за наличия кора в сильных NN -взаимодействиях обмены тяжелыми мезонами и многомезонные обмены подавлены, и при $\Delta T=1$ доминирует вклад однопионного обмена. В масштабе эффективного радиуса такого взаимодействия $r \sim m_\pi^{-1} \sim 1,5$ фнуклоны в хорошем приближении можно считать точечными, и описание эффектов НЧ с помощью модели слабого ОРЕР в этом случае правомерно и дает хорошие результаты ^{/3,4/}.

Для проверки наших представлений о структуре нуклонов и картины их взаимодействий на кварковом уровне более интересны реакции с $\Delta T=0,2$, где расчеты НЧ разыгрываются в области перекрывания кварковых волновых функций нуклонов, где разыгрывается явление конфайнмента. Для описания НЧ эффектов в этой области развито два альтернативных подхода. Наиболее известным и разработанным является вышеупомянутая модель слабого ОРЕР, в которой НЧ-взаимодействие с $\Delta T=0,2$ обеспечивается за счет обменов векторными мезонами,

$r \sim 0,65$ фн . В настоящее время удалось самосогласованным образом вычислить все константы НЧ в вершинах \sqrt{NN} ^{/4/} и достичь удовлетворительного согласия с экспериментальными данными, однако представление NN -системы в виде двух индивидуальных нуклонов на расстояниях меньше радиуса конфайнмента является скорее эффективным, чем реалистическим. Более реалистическое описание NN -взаимодейст-

вий на малых расстояниях исходит из понятия флюктона ^{15/}, введенного Д.И.Блохинцевым в 1957 г. Напомним юбилейную историю возникновения этого понятия и связь его с экспериментальными данными.

Четверть века назад в Дубне впервые были наблюдаены взаимодействия быстрых протонов (660 МэВ) с легчайшими ядрами как с единым целым ^{16/}. Тогда же Д.И.Блохинцев высказал гипотезу о существовании в ядре флуктуаций плотности, т.е. столь тесных корреляций нуклонов, когда налетающая быстрая частица уже не может передать большой импульс независимо только одному нуклону. В те времена нуклоны еще считались точечными частицами, поэтому фактически подразумевалось, что нуклоны в ядрах сближаются друг с другом вплоть до расстояний, равных некоторому критическому R . Такая тесно сближившаяся пара должна вести себя в жестких столкновениях как единый объект - "флюктон". Отсюда и следовал метод расчета вероятности образования флюктонов в ядрах: по вероятности обнаружить пару нуклонов, сближившуюся вплоть до расстояний $r \leq R$ (т.е. по интегралу перекрытия $\int_0^R |u_a(r)|^2 dr$).

Заметим, что современный расчет вероятности образования $6q, 9q$ и т.д. компонент в ядрах по сути дела мало чем отличается от расчета вероятности образования флюктонов. Только вместо радиуса R теперь используется радиус кварковой структуры нуклона, а под флюктоном, например, в системе из двух нуклонов подразумевается система из шести составляющих его кварков, находящихся в общей зоне конфайнмента.

В применении к НЧ в NN -системе введение флюктона позволяет производить микроскопические расчеты слабых, практически контактных, взаимодействий кварков в составе $6q$ -систем, и снимает подавление взаимодействий кварков из разных нуклонов. Эвристическим моментом для развития такого подхода, названного кварк-ядерным, послужили попытки вычислить с помощью трансляционно-инвариантной оболочечной модели ^{17/} вклад шестикваркового состояния дейтрона в эффект НЧ в реакции $np \rightarrow d\gamma$ ^{18/}. Последующее продвижение было связано с кварковым описанием сильных NN -взаимодействий в рамках Р-матричного формализма Джаффе-Лоу ^{19/}, получившего микроскопически обоснованную формулировку в модели составного кваркового мешка (СКМ), предложенной Симоновым ^{10/}. Описание НЧ в СКМ более последовательно в том отношении, что амплитуды и сильных и слабых взаимодействий в ней можно найти взаимно согласованным образом в рамках одних и тех же динамических уравнений.

В СКМ НЧ NN -взаимодействие с изменением изоспина $\Delta T = 0, 2$ развивается в три этапа: I) вначале сильное взаимодействие между нуклонами приводит к образованию мешка из шести валентных кварков;

2) затем в нем происходит слабое НЧ взаимодействие между кварками, переводящее начальное состояние СКМ в конечное и, наконец, 3) конечное состояние СКМ распадается на нуклоны с учетом их сильного взаимодействия в конечном состоянии. Слабый переход в СКМ мы вычислим здесь с помощью эффективного четырехкваркового контактного гамильтониана стандартной электрослабой модели, учитывающего в приближении главных логарифмов глюонные поправки ^{11/}. Оценка НЧ асимметрии в pp -рассеянии без глюонных поправок была дана ранее в ^{12/}.

В настоящей работе мы кратко изложим технологию расчета асимметрии в pp -рассеянии с помощью указанных методик, обсудим полученные результаты и возможную картину ядерных сил на малых расстояниях.

I. Потенциальный подход к НЧ

Вычисления асимметрии A_1 в этом подходе выполнены в нескольких работах (см., например, ^{13,14/}). НЧ слабые борновские амплитуды вычисляются на основе диаграмм одноэзонного обмена с нарушением четности в одной из вершин. Затем эти борновские амплитуды унитаризуются по взаимодействиям в начальном и в конечном состояниях в терминах упругих pp -амплитуд, находящихся на массовой оболочке так, чтобы удовлетворялась обобщенная теорема Ватсона. Для низких энергий амплитуду pp -рассеяния с учетом примешивания слабого НЧ-взаимодействия можно записать так:

$$\begin{aligned} T &= \langle s'm' | M^{PC}(p_f, p_i) + M^{PNC}(p_f, p_i) | sm \rangle = \\ &= \frac{2\pi}{ik} \langle \vartheta_f, \varphi_f, s'm' | S - 1 | \vartheta_i, \varphi_i, sm \rangle = \\ &= \sum_{\ell'} \sum_{j'=|\ell'-s'|}^{\ell'+s'} \sum_{\ell=|j-s|}^{j+s} \sqrt{4\pi(2\ell+1)} C_{s'm'_\ell}^{jm} C_{\ell m' s'm'}^{j m'} a_{\ell's'\ell s}^j Y_\ell^{m-m'}(\vartheta, \varphi), \end{aligned} \quad (1)$$

где ϑ, φ - угол рассеяния, а парциальная амплитуда в случае спин-независимого взаимодействия определяется обычным образом:

$$\begin{aligned} a_{\ell's'\ell s}^j &= \frac{1}{2ik} \langle \ell's'jm | S - \delta_{\ell\ell'} \delta_{s's'} | \ell s jm \rangle = \\ &= \frac{1}{k} \sum_{\alpha=1}^4 U_{\ell s \alpha}^j U_{\ell' s' \alpha}^j \exp(i\delta_\alpha^j) \sin \delta_\alpha^j. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь k - величина относительного импульса, а δ_α^j - сдвиг фазы для состояния с полным угловым моментом j , U_α - матрицы в спин-орбитальном пространстве, α - лоренцевский индекс. В сдвигах фаз нетрудно учесть эффект кулоновского взаимодействия протонов (см., например, [13]), однако, как показано в [15] (если не выбирать специальных углов рассеяния, например, рассеяние вперед или назад), кулоновскими поправками можно пренебречь.

Введем сечения рассеяния протона с положительной (σ_+) и отрицательной (σ_-) спиральностью на неполяризованной протонной мишени, и определим коэффициент асимметрии (анализирующую способность) как

$$A_L = \frac{\sigma_+ - \sigma_-}{\sigma_+ + \sigma_-} \quad (3)$$

При энергиях налетающего протона $E_{lab} < 50$ МэВ можно ограничиться вкладом в амплитуду T^{PNC} от перехода между синглетным 1S_0 и триплетным 3P_0 состояниями. Тогда легко показать, что при этих условиях

$$A_L = - \frac{2k a_{sp} \sin(\delta_s + \delta_p)}{\sum_{l'sj} (2j+1) \sin^2 \delta(l'sj)} \quad (4)$$

Таким образом, неизвестной динамической величиной, определяющей A_L , является амплитуда a_{sp} , которую можно найти, решая уравнения Шредингера с заданными сильным и слабым потенциалами, а именно:

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} + k^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} \right] U_{\alpha l s}^j V_{\alpha, l s}^j(r) - 2M \sum_{l's'} \langle l'sj | V U_{\alpha l's'}^j V_{\alpha, l's'}^j | l'sj \rangle = 0 \quad (5)$$

Граничное условие для $V_{\alpha, l s}^j(r)$ для случая мягкого кора задают в виде

$$V_{\alpha, l s}^j(r) \Big|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow \sin\left(kr - \frac{l\pi}{2} + \delta_\alpha^j\right), \quad (6)$$

$$V_{\alpha, l s}^j(0) = 0$$

для случая жесткого кора с радиусом r_c

$$V_{\alpha, l s}^j(r_c) = 0 \quad (7)$$

Таблица 1
 $\bar{A}_L \cdot 10^7$ в потенциальном подходе

Модель сильного взаимодействия	Потенциал Н.-J		Потенциал deT.- Spr	
	E=15 МэВ	45 МэВ	15 МэВ	45 МэВ
DDH [3]	-0,80; -1,24;	-1,40 [13] -4,16 [14]	-0,8 ;	-1,0 [3]
DZ [4,11]			-1,3 ;	-2,3

Таблица 2
 $\bar{A}_L \cdot 10^7$ в кварк-ядерном подходе

Модель сильного взаимодействия	QCB [12]		Hybr.mod. [19]	
	15 МэВ	45 МэВ	15 МэВ	45 МэВ
SU(2) _c * U(1)	± 1,42;	± 5,12 [12]		
SU(2) _c * U(1) * SU(3) _c	настоящая работа ± 1,84;	± 6,66	-0,5;	-1,5 [18]

Уравнение (5) решается численно. Окончательные результаты для нескольких потенциалов, извлеченные из работ /3,4,13,14/, сведены в табл. I. Заметим, что использование значений констант, найденных в самосогласованном подходе /4/, приводит к удивительно хорошему совпадению с экспериментальными данными по асимметрии в низкоэнергетическом pp-рассеянии.

2. Кварк-ядерный подход к НЧ

В кварк-ядерном подходе к проблеме НЧ в работах /8/ использовался кластерный подход к проблеме флюктона, позволяющий оценить вероятность примеси $6q$ -состояния волновой функции NN -системы, представляемой в виде

$$\Psi_{NN}(6q) = \frac{1}{N_A} \hat{A} \Phi_{NN}(r) \{ \Psi_N^{(1,2,3)} \Psi_N^{(4,5,6)} \}_{ST}, \quad (8)$$

где Ψ_N - кварковые волновые функции нуклонов, Φ_{NN} - радиальные волновые функции движения центра масс нуклонов. В предположении, что волновые функции в феноменологических моделях NN -взаимодействий в области кора эффективно учитывают вклад $6q$ -компоненты, вероятности образования флюктонов в низколежащих конфигурациях $\nu = S^6, S^5p, S^4p^2$ /8,16/ определяются так:

$$\beta_\nu = \langle \Psi_{NN}(6q) | \Psi_\nu(6q) \rangle. \quad (9)$$

В /8/ кварковые волновые функции $\Psi_\nu(6q)$ вводились с помощью трансляционно-инвариантной модели оболочек с осцилляторным потенциалом. Амплитуда запрещенного по четности перехода определялась прямыми (контактными) взаимодействиями кварков в составе шестикварковых начального и конечного состояний по формуле:

$$\begin{aligned} T^{PNC} &= \left\langle \frac{1}{N_A} \hat{A} \Phi_{NN}^{(f)} \{ \Psi_N \Psi_N \}_f \left| H_{qq}^{PNC} \right| \frac{1}{N_A} \hat{A} \Phi_{NN}^{(i)} \{ \Psi_N \Psi_N \}_i \right\rangle = \dots \\ &= \sum_{\nu_i, \nu_f} \beta_{\nu_f} \beta_{\nu_i} \langle \Psi_{\nu_f}(6q) | H_{qq}^{PNC} | \Psi_{\nu_i}(6q) \rangle. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь H_{qq}^{PNC} - четырехкварковый эффективный НЧ гамильтониан, полученный с помощью стандартной модели фундаментальных взаимодействий кварков $SU(2)_L \otimes U(1) \otimes SU(3)_c$:

$$H_{qq}^{PNC} = a_\Gamma H_{eff}^{PNC}(ud) + \Delta H_\Gamma^{PNC}. \quad (11)$$

Здесь $H_{eff}^{PNC}(ud)$ - "голый" гамильтониан модели ГИМ в ud -секторе (считаем, что $\cos^2 \theta_c \approx 1$).

$$H_{eff}^{PNC}(ud) = -\frac{G}{\sqrt{2}} \sum_{i,j}^N \left\{ \left(\frac{1}{2} \vec{\tau}_i \cdot \vec{\tau}_j - \sin^2 \theta_w \tau_i^z \tau_j^z \right) \gamma_i^\mu \gamma_{\mu j} (\delta_i^S + \delta_j^S) - \frac{1}{3} \sin^2 \theta_w \gamma_i^\mu \gamma_{\mu j} (\tau_i^x \delta_i^S + \tau_j^x \delta_j^S) \right\}, \quad (12)$$

а поправочные члены имеют вид:

$$\begin{aligned} \Delta H_\Gamma^{PNC} &= -\frac{G}{\sqrt{2}} \sum_{i,j}^N \left\{ b' \tau_i^z \tau_j^z \gamma_i^\mu \gamma_{\mu j} (\delta_i^S + \delta_j^S) + c' \gamma_i^\mu \gamma_{\mu j} (\tau_i^z \delta_i^S + \tau_j^z \delta_j^S) + \right. \\ &\quad \left. + d' (\tau_i^z + \tau_j^z) \gamma_i^\mu \gamma_{\mu j} (\delta_i^S + \delta_j^S) + e' \gamma_i^\mu \gamma_{\mu j} (\delta_i^S - \delta_j^S) + f' (\tau_i^+ \tau_j^- - \tau_i^- \tau_j^+) (\delta_i^S - \delta_j^S) \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$a_\Gamma = 1,316; \quad b' = 0,162; \quad c' = 0,037; \quad d' = 0,005; \quad e' = -0,436; \quad f' = -0,168.$$

Параметры a_Γ, b', \dots, f' учитывают перенормировку стандартного (затраченного) четырехкваркового гамильтониана модели электрослабых взаимодействий $SU(2)_L \otimes U(1)$ кварк-глюонными взаимодействиями, учтенными в приближении главных логарифмов; отдельно выписаны структуры, появляющиеся из-за возникновения аннигиляционных диаграмм ("пингвинов").

С помощью этой методики коэффициент асимметрии в pp-рассеянии A_L был получен недавно в работе /18/ при следующих определениях:

$$\int \prod_{i=1}^6 d^3 r_i |\Psi_{6q}^\alpha(E, r_i)|^2 = V_\Gamma |A^\alpha(E)|^2 \sum_n C_n^\alpha \equiv V_\Gamma P_\alpha, \quad (14)$$

где

$$\Psi_{6q}^\alpha(E, r_i) = A^\alpha(E) \Psi_{6q}^\alpha, \quad \Psi_{6q}^\alpha = \sum_n C_n^\alpha \Psi_{6q}^n, \quad V_\Gamma = \frac{4\pi}{3} \Gamma^3. \quad (15)$$

Здесь P_α интерпретируют как вероятность возбуждения $6q$ -компоненты при энергии относительного движения двух $3q$ -кластеров E , относенную к области с характерными размерами для сильного взаимодействия Γ_α . Значения A_L , полученные в /18/, приведены в табл. 2.

3. Универсализация кварк-ядерного подхода в модели СКМ

Аналогичным образом производится расчет A_L в модели составного кваркового мешка /10/. В СКМ связь между нуклонной и кварковой компонентами волновой функции NN -системы осуществляется через феноменологический поверхностный потенциал связи нуклонного (на больших расстояниях $r > b$) и кваркового ($r < b$) каналов рассеяния:

$$V_{Nq} |\psi_{\nu}(6q)\rangle = c_{\nu} \frac{\delta(r-b)}{r}. \quad (16)$$

Здесь параметр b играет роль искусственного радиуса NN -канала ($b \geq R_{6q}^{MIT}$). В СКМ нуклонная функция ψ_{NN} быстро вымирает при $r < b$, т.к. в NN -канале взаимодействие (16) эффективно проявляется как потенциальный барьер - аналог кора. Вид ψ_{NN} на расстояниях $r > b$ определяется однопионным обменом и практически одинаков во всех феноменологических моделях сильного NN -взаимодействия. Функция $\psi_{\nu}(6q)$ удовлетворяет (идеализированным) граничным условиям модели MIT, запрещающим вылетание кварков из мешка, в том числе и развал его на два бесцветных нуклонных кластера. Вследствие этого спектр $6q$ -системы E_{ν} дискретен, и функция Грина в кварковом канале имеет вид:

$$G_{\nu}(E) = \sum_{\nu} \frac{|\psi_{\nu}(6q)\rangle \langle \psi_{\nu}(6q)|}{E - E_{\nu}}. \quad (17)$$

В СКМ полное разложение P -матрицы Джаффе и Лоу /9/ автоматически следует из двух формул (16) и (17) после стандартной процедуры проектирования кваркового канала из уравнений для ψ_{NN} :

$$P(k,b) \equiv \frac{d[r \psi_{NN}(r)]}{\psi_{NN}(r) dr} \Big|_{r=b} = \sum_{\nu} \frac{c_{\nu}^2}{E - E_{\nu}} + P_0(k,b), \quad (18)$$

$$k = \sqrt{2\mu E}.$$

Сопоставление разложения (18) с экспериментальными фазовыми сдвигами NN -рассеяния (в случае S -волн $P(k,b) = kb \operatorname{ctg}(kb + \delta)$) показало /10,12/, что 3S_1 и 1S_0 фазы в широком интервале энергий $0 \leq T_{lab} \leq 500$ МэВ полностью определяются одним полюсом P -матрицы $E_1 \sim 2,1 \div 2,2$ ГэВ ($b = 1,44$ fm, $R_{6q} = 1,32$ fm). Качественно это соответствует "примитивным" уровням $6q$ -мешка модели MIT (см. табл. I).

Отметим, однако, что кварковые состояния неоднозначно определены набором "ядерных" чисел $J^{\pi}T$ (в jj -схеме) или JLS^{π} (в LS -схеме). Поэтому для классификации $6q$ -состояний NN -системы используется дополнительное квантовое число ν , нумерующее состояния с различной перестановочной симметрией. Состояния в сферическом мешке MIT запишем в обозначениях кварковой оболочечной модели /16/ в схеме jj -связи:

$$\psi_{\nu}(6q) = |S_{\frac{1}{2}}^{N_s} P_{\frac{1}{2}}^{N_p} ([f_x^{\nu}] S' [f_J^{\nu} = f_{x_s'}^{\nu}]) J, [2^{\nu}]_c T [f_{\pi}^{\nu} = f_J^{\nu}] \rangle. \quad (19)$$

Здесь f_{α}^{ν} - схема Инга в подпространстве α , $\alpha = C$ (цвет), T (изоспин), ST (кронекеровское произведение $C \cdot T$), X (квасиспин, проекциями которого являются дираковские орбитали $S_{\frac{1}{2}}$ и $P_{\frac{1}{2}}$ в мешке), S' (пространство проекций углового момента орбиталей $S_{\frac{1}{2}}$ и $P_{\frac{1}{2}}$), $X S'$ (кронекеровское произведение $X \cdot S'$); четность данного состояния $\pi = (-1)^{N_p}$, $N_s + N_p = N = 6$. Рассмотрим лишь нижние конфигурации $S_{\frac{1}{2}}^6$ и $S_{\frac{1}{2}}^5 P_{\frac{1}{2}}$ в каналах $(J, T) = (0, 1)$ и $(1, 0)$ положительной и отрицательной четности (нижние строки табл. I).

Из табл. 3 видим, что в канале $J^{\pi} T = 0^{-}, 1$ состояния $\nu = 1, 2$ с симметрией $[51]_X$ и $[6]_X$ почти вырождены, что создает некоторые трудности для их P -матричной интерпретации, которая должна быть обобщена на случай вырождения собственных состояний $\psi_{\nu}(6q)$. Напомним, что в этом случае естественно перейти к рассмотрению системы связанных адронных каналов $NN + \Delta\Delta + N\Delta$, причем состояния $\nu = 1, 2$ будут различаться своими ширинами в этих каналах. Учет связи с $\Delta\Delta$ - и $N\Delta$ -каналами приводит к снятию вырождения, в результате собственные состояния становятся линейными комбинациями исходных состояний $\psi_{\nu=1,2}(6q)$. При $E \rightarrow 0$ нужно учитывать только одну из этих линейных комбинаций и один полюс в P -матрице. Не решая здесь столь сложной задачи, мы рассмотрим лишь крайние случаи, когда полюс соответствует $\psi_1^{\nu}(6q)$ или $\psi_2^{\nu}(6q)$. Это позволяет оценить предельные значения НЧ эффектов.

Напомним теперь, что в модели СКМ кварковые компоненты $\psi_{\nu=1,2}(6q)$ связаны с нуклонными состояниями рассеяния 1S_0 и 3P_0 через поверхностный потенциал (16). Используя (16) и (17), можно согласно программе действий в модели СКМ /12/ (см. введение к этой статье) вывести слабый НЧ-потенциал, который в парциально-волновом разложении принимает следующий вид:

Таблица 3

Параметры модели СКМ для низших парциальных волн (при $l = 1,44 \text{ fm}$) и соответствующие характеристики уровней мезонно-кваркового мешка MIT

	Конфигурация	1S_0	3P_0	
NN	$(\Gamma_{\Delta B}^{I/2})$	0,454	0,233	
	$(\Gamma_{\Delta B})$	0,272	0,554	
q ⁶	Конфигур.	$S_{1/2}^6$	$S_{1/2}^5 P_{1/2}$	
	ν	0	1	2
	$[f_x] s'$	[61 0]	[511 0]	[61 0]
	$[f_s]$	[3 ²]	[321]	[3 ²]
	$E_{MIT} (\Gamma_{\Delta B})$	0,362	0,620	0,613

$$r r' V_{ls'l's'}^J(r, r') = \frac{C_V \delta(r-b)}{E-E_V} \langle \psi_V(6q) | H_{99}^{PNC} | \psi_V(6q) \rangle \frac{C_{V'}}{E-E_{V'}} \delta(r'-b) \quad (20)$$

Наличие δ -функций в этом нелокальном потенциале позволяет записать решение уравнений (8) в явном виде:

$$a_{ls'l's'}^j(k) = -2m \left[b \psi_{s'}^{(+)}(kb) \right] \frac{C_V}{\frac{k^2}{2\mu} - E_V} \langle \psi_V | H_{99}^{PNC} | \psi_V \rangle \frac{C_{V'}}{\frac{k^2}{2\mu} - E_{V'}} \left[b \psi_{s'}^{(+)}(kb) \right] \quad (21)$$

Вычисление матричного элемента в (21) с помощью волновых функций модели MIT от оператора H_{99}^{PNC} , заданного (II)-(I3), приводит к результатам (табл.2), согласующимся с экспериментальными данными.

Общие замечания

Кварковый подход к проблеме NN -взаимодействия в области ко-ра позволяет дать новую интерпретацию бесконечному отталкиванию на малых расстояниях. Ранее отталкивание объяснялось как результат обмена тяжелыми векторными мезонами (ρ, ω) - аналог электростатического отталкивания между одноименными зарядами. Теперь эта идея менее популярна, ввиду того, что радиус адрона r_a , связанный с его собственной структурой, имеет тот же порядок величины, что и радиус феноменологического ко-ра $r_c \approx (0,5-0,7) \text{ fm}$. И r_c и r_a , по-видимому, определяются радиусом конфайнмента, а не комптоновской длиной векторных мезонов $m_\rho^{-1} \approx 0,25 \text{ fm}$. Недавно были предприняты попытки [20] вывести NN -отталкивание из кварк-кварковых сил, однако точная реализация этой идеи пока невозможна из-за неприменимости теории возмущений КХД в области $r \sim r_a, r_c$, где определяющую роль играет вклад глюонного и кваркового конденсата. Тем не менее в настоящее время имеется микроскопическое объяснение эффекта ко-ра за счет отталкивания между кварками в простейшей конфигурации S^6 , возникающего из-за принципа Паули. Эта альтернатива к описанию ко-ра в терминах векторных мезонов кажется более реалистической. Однако противоречия между этими двумя картинками нет, поскольку на малых расстояниях $r \lesssim 0,5 \text{ fm}$, меньших радиуса конфайнмента, вряд ли разумно утверждать, что между нуклонами распространяется кварк-антикварковая пара, представляющая векторный мезон. Скорее всего мезоны - это эффективный язык описания обменов кварками между нуклонами, возникающий при достаточном сближении составляющих нуклоны $3q$ -кластеров. Успешное описание эффекта НЧ в pp -рассеянии как в потенциальном подходе, опирающемся на мезонную теорию ядерных сил, так и в кварк-ядерном подходе, является одним из свидетельств в пользу этого утверждения.

Литература

1. Nagle D.E. et al. AIP Conf. Proc. 1978, N51, p. 224.
2. Balzer R. et al., Phys.Rev.Lett., 1980, v. 44, 1980.
3. Desplanques B., Donoghue J.F., Holstein B. Ann.Phys., 1980, v. 124, p. 449; Desplanques B. Proc. VIII Int. Conf. on High Energy and Nucl. Structures, Vancouver, 1979, in Nucl.Phys. 1980, A335, p. 147.
4. Дубовик В.М., Замиралов С.В., Зенкин С.В. ЯФ, 1981, т. 34, с.837; Дубовик В.М., Зенкин С.В. JINR, E2-82-370, Dubna, 1982.
5. Блохинцев Д.И. ЖЭТФ, 1957, т. 33, с. 1295.

6. Лексин Г.А. и др. ЖЭТФ, 1957, т. 32, с. 445; Ажгирей Л.С. и др. ЖЭТФ, т. 33, с. 1188.
7. Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Нуклонные ассоциации в легких ядрах. М., "Наука", 1969.
8. Dubovik V.M., Obukhovsky I.T., Z. Phys., 1981, A299, p. 341; *ibid.*, C10, p. 123; Dubovik V.M., Kobushkin A.P. Report ITP-78-85, Kiev, 1978.
9. Jaffe R.L., Low F.E., Phys.Rev., 1979, D19, p. 2105.
10. Simonov Yu.A., Phys.Lett., 1981, v. B107, p. 1.
11. Dubovik V.M., Zamiralov S.V., Zenkin S.V., Nucl.Phys., 1981, v. B182, p. 52.
12. Simonov Yu.A., Preprint ITP-31, Moscow, 1982; Обуховский И.Г., Симонов Ю.А., Шматиков М.Ж. ЯФ, 1983, т. 38, вып. I с.
13. Yamamoto Y. Progr. Theor.Phys., 1977, v. 58, p. 1790.
14. Ока Т. Progr. Theor.Phys., 1981, v. 66, p. 977.
15. Данилов Г.С. Материалы II школы ЛИЯФ по физике ядра и элементарных частиц. Изд. ЛИЯФ, Ленинград, 1976, с.203.
16. Obukhovsky I.T. Z.Phys., 1982, v. A308, p. 253.
17. Goldman T., Preston D., Los Alamos preprint La-UR-1285 (1982).
18. Kisslinger L.S., Miller G.A. Phys.Rev., 1983, v. 27, p. 1602.
19. Kisslinger L.S., Phys.Lett., 1982, v. 112B
20. Liberman D. Phys.Rev. D 1977, v. 16, p. 1542; Harvey M. Nucl.Phys., A 1981, v. 352, p. 301; *ibid.* 326.

ТЕОРИЯ НАГРЕВАНИЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА
Н.М.Плакида

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Д.И.Блохинцев, широта научных интересов которого хорошо известна, часто обращал внимание на научные проблемы, имеющие как фундаментальное, так и прикладное значения. Одной из таких задач, которой он занимался в последние годы, была проблема хранения нейтронов в замкнутых сосудах.

Впервые идея о возможности хранения нейтронов в замкнутых сосудах была высказана Я.Б.Зельдовичем ^{1/} в 1959 году и экспериментально реализована Ф.Л.Шапиро с сотрудниками ^{2/} в 1968 году. Эта идея основана на том, что нейтроны с кинетической энергией

$$E = \frac{p^2}{2m} < U_0 = \frac{2\pi\hbar^2}{m} n_0 \nu_{\text{ког}} = \frac{p_0^2}{2m} \quad (I)$$

испытывают полное отражение от стенки сосуда, характеризуемой потенциальным барьером U_0 , создаваемого ядерными силами (здесь n_0 и $\nu_{\text{ког}}$ - плотность и когерентная длина рассеяния ядер, образующих стенки сосуда). Поскольку для всех веществ $U_0 \lesssim 10^{-7}$ эВ и соответствующая тепловая энергия нейтронов, удовлетворяющая неравенству (I), эквивалентна нескольким мкВ, то такие нейтроны были названы ультрахолодными (УХН).

Возможность хранения нейтронов в замкнутых сосудах представляет большой интерес для исследования фундаментальных свойств нейтрона как элементарной частицы. В то же время взаимодействие нейтрона со стенкой сосуда имеет и прикладное значение, так как может быть использовано для исследования твердых тел и особенно их поверхностей. Действительно, уже в первых экспериментах обнаружилось, что время хранения УХН в сосуде намного меньше (примерно в 100 раз) предсказываемого теорией (см. обзорные доклады И.М.Франка, В.И.Луцикова и А. Steyerl в ^{3/}), что поставило вопрос о характере взаимодействия УХН со стенкой сосуда.

Д.И.Блохинцев заинтересовался этой проблемой и совместно с автором доклада провел ряд расчетов для выяснения причин малого времени хранения УХН. В этих работах ^{4, 5/} (и статье ^{6/}, суммирующей результаты этих расчетов) было показано, что "коэффициент поглощения" УХН для чистых поверхностей мал, что подтверждало расчеты других авторов, и для объяснения результатов экспериментов на основе анализа полученных строгих формул была выдвинута гипотеза

о возможности нагрева УХН за счет столкновения их с адсорбированным в поверхностном слое водородом. (На основании качественных соображений подобная гипотеза высказывалась и другими авторами, см., например, /7/).

Как показали последние эксперименты (см. обзор /8/), эта гипотеза полностью подтвердилась, а исключение водорода как рассеивателя позволяет получать достаточно большое время хранения УХН для наблюдения β -распада нейтрона /9/.

В настоящем докладе кратко излагается теория нагрева УХН в том виде, как она была сформулирована в /5,6/, и в дальнейшем более детально рассмотрена автором доклада в /10/ для случая рассеяния на примесном водороде. При сопоставлении теории с экспериментами, выполненными в последнее время, выбраны лишь те из них, которые представляются автору решающими для подтверждения гипотезы об определяющей роли водорода в нагревании УХН. История вопроса и другие эксперименты достаточно подробно рассмотрены в обзоре /8/.

I. Неупругое рассеяние УХН

Рассмотрим поток УХН, падающих на поверхность стенки, занимающей полупространство $z > 0$. Для УХН с нормальной компонентой импульса $p_z < p_0$ (см. (I)) волновая функция внутри стенки имеет вид

$$\Psi_p(\vec{r}) = \frac{A(p)}{\sqrt{V}} e^{-\kappa z} e^{i(p_x x + p_y y)}; \quad A(p) = \frac{2 p_z}{p_z + i\kappa}, \quad (2)$$

где $\kappa = \sqrt{p_0^2 - p_z^2}$ определяет эффективную глубину проникновения УХН в вещество стенки: $l_{\text{эф}} \approx 1/2\kappa$. Полный поток УХН, падающих на поверхность $L^2 = V^{2/3}$, равен:

$$J = L^2 \frac{p_z}{m} \frac{1}{V}. \quad (3)$$

Коэффициент потери УХН $\mu(p)$ за счет их нагрева при однократном столкновении со стенкой определяется вероятностью их неупругого рассеяния в состоянии $p' > p_0$

$$\mu(p) = \frac{1}{J} \int dP(\vec{Q}, \omega). \quad (4)$$

Вероятность рассеяния УХН в веществе, согласно общей теории Ван Хова, может быть записана в виде:

$$dP(\vec{Q}, \omega) = |A(p)|^2 \frac{N}{V} \frac{d^3 p'}{m^2} S(\vec{Q}, \omega), \quad (5)$$

где функция рассеяния определяется только свойствами вещества-рассеивателя:

$$S(\vec{Q}, \omega) = \frac{1}{N} \sum_{n, n'} \beta_n \beta_{n'} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dt}{2\pi} e^{-i\omega t} \langle e^{-i\vec{Q}\vec{R}_n(t)} e^{i\vec{Q}'\vec{R}_{n'}} \rangle \quad (6)$$

Конфигурация N рассеивающих центров задается координатами ядер $\vec{R}_n, \vec{R}_{n'}$, длины рассеяния которых равны $\beta_n, \beta_{n'}$ соответственно. При вычислении статистического среднего $\langle \dots \rangle$ необходимо учесть только те вклады в (6), которые явно зависят от времени t — они определяют неупругие процессы рассеяния в (5). Здесь $\omega = (p'^2 - p^2)/2m$ и $\vec{Q} = (\vec{p}' - \vec{p})$ — энергия и импульс передачи нейтрона при рассеянии, но в отличие от тепловых нейтронов для УХН нормальная компонента имеет комплексное значение: $Q_z = p'_z - i\kappa$ и поэтому при суммировании по равновесным положениям рассеивающих ядер в (6) вклад в рассеяние дает только поверхностный слой толщиной $l_{\text{эф}}$.

Подставляя в (4) соотношение (5) и выполняя интегрирование по $d^3 p' = m p' d\Omega dE'$, $E' > E_0 = U_0$ (см. (I)), для коэффициента потери УХН за счет нагрева получаем выражение (см. /5,10/):

$$\mu(p) = \frac{2 p_z}{\kappa} \eta = \frac{4 p_z}{p_0^2} \frac{N}{L^2} \int_{E_0}^{\infty} dE' \int d\Omega p' S(\vec{Q}, \omega), \quad (7)$$

где коэффициент "поглощения" η определяется полным сечением неупругого рассеяния и плотностью рассеивающих центров, N/L^2 , отнесенных к единице поверхности в слое $l_{\text{эф}}$. Анализ формулы (7), проведенный в /5,6/, показал, что как для когерентного, так и некогерентного неупругого рассеяния на колебаниях ядер вещества, образующего стенку, коэффициент поглощения может быть записан в виде:

$$\eta = \sigma \frac{n}{p_0^2} \frac{m}{M} \overline{p'(\tau)}, \quad (8)$$

где для простоты предполагается, что вещество состоит из ядер одного сорта с массой M и сечением рассеяния σ с плотностью

$n = N/V$. Средний тепловой импульс $\overline{p'(T)}$ рассеянных нейтронов определяется температурой стенки T .

2. Теоретическая оценка коэффициента потери УХН

Оценка формулы (8), проведенная в ^{16/} при характерных значениях параметров:

$$\sigma \lesssim 5 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2, \quad m/M \approx 5 \cdot 10^{-2}, \quad n \approx 10^{23} \text{ см}^{-3}, \quad (9)$$

$$p_0 \approx 10^6 \text{ см}^{-1}, \quad \overline{p'} \approx 10^8 \text{ см}^{-1},$$

показывает, что коэффициент $\eta \lesssim 10^{-5}$, что значительно меньше значения $\eta \approx 2 \cdot 10^{-4}$, наблюдаемого в эксперименте (см. ^{18/}). Однако, как было отмечено в ^{15,6/}, если в рассеянии участвует адсорбированный в поверхностном слое водород, который имеет большое сечение некогерентного рассеяния $\sigma_{\text{нк}} \approx 80 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ и для которого $m/M = 1$ (ср. с (9)), то при умеренной концентрации его ($\sim 20\%$) можно объяснить экспериментальные значения η .

Для сопоставления теоретических оценок для коэффициента потерь (7) с экспериментом в случае рассеяния на водороде эту формулу удобно переписать в виде ^{10/}:

$$\mu(p) = \frac{2p_2}{p_0^2} \sigma_{\text{нк}} N_{\sigma} \overline{p'(T)}, \quad (10)$$

где $N_{\sigma} = N/L^2$ - плотность водорода в поверхностном слое $d \lesssim l_{\text{зф}} \approx 1/2\lambda$, отнесенная к единице поверхности, а средний тепловой импульс рассеянных нейтронов определяется в виде:

$$\overline{p'(T)} = \int_0^{\infty} d\omega \sqrt{2m\omega} S(Q, \omega) / \int_0^{\infty} S(Q, \omega) d\omega \approx (2m\overline{E'})^{1/2}. \quad (11)$$

Здесь использовано условие нормировки для некогерентной функции рассеяния (6):

$$\frac{1}{\sigma_{\text{нк}}} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega S(\vec{Q}, \omega) = \frac{1}{N} \sum_n e^{i(\vec{Q} - \vec{Q}^*) \cdot \vec{R}_n} \approx 1 \quad (12)$$

при условии, что все примеси с координатами ядер \vec{R}_n располагаются в поверхностном слое толщиной $d \ll l_{\text{зф}}$, так что $\exp(-2\lambda d) \approx 1$. Формула (10) позволяет провести наиболее точную оценку коэффициента потерь, если известна концентрация водорода в поверхностном слое N_{σ} и средняя энергия $\overline{E'}$ рассеянных нейтронов.

Для определения температурной зависимости $\overline{p'(T)}$ в (II) полезно рассмотреть различные предельные случаи связи водорода с поверхностью:

1) модель локальных колебаний адсорбированного водорода:

$$\overline{p'(T)} = \sqrt{2m\omega_0} (e^{\omega_0/T} - 1)^{-1}, \quad (13a)$$

где ω_0 - частота локальных колебаний;

2) модель квазисвободного газа ^{16,7/}:

$$\overline{p'(T)} \approx \sqrt{2mT}; \quad (13b)$$

3) модель сильно связанных водородсодержащих комплексов, совершающих туннелирование с частотами $\Omega_n < \Omega_0$ ^{10/}:

$$\overline{p'(T)} \approx \frac{2}{3} \sqrt{2m\Omega_0} \left(1 - 0,3 \frac{\Omega_0}{T}\right), \quad T > \Omega_0. \quad (13в)$$

Эти модели могут описывать как резкую температурную зависимость в случае локальных колебаний $\mu(T) \sim \exp(-\omega_0/T)$, $T < \omega_0$, так и относительно слабую $\mu(T) \sim \sqrt{T}$ в модели слабосвязанного водорода, а в модели туннелирующей примеси - температурная зависимость может отсутствовать вплоть до температур $T \lesssim 1\text{K}$, когда наступает полное замораживание этих перескоков.

3. Экспериментальные результаты

Первые эксперименты по хранению УХН показали, что коэффициент потерь не обнаруживает явной температурной зависимости и слабо зависит от вещества стенки, что ставило под сомнение гипотезу нагревания УХН как причину их малого времени хранения (см., например, ^{13/}). Первые, наиболее прямые указания на нагревание УХН до тепловых энергий при столкновении их со стенкой, были получены в работах А.В.Стрелкова и др. (см. ^{11/}). Регистрируя вылетающие из сосуда тепловые нейтроны, авторы показали, что примерно 75% от полного числа УХН в сосуде вылетают за счет их нагревания. В этих же работах была высказана гипотеза о том, что нагревание УХН происходит за счет рассеяния на адсорбированном водороде. Эти эксперименты стимулировали прямое измерение концентрации водорода в поверхностном слое сосуда. Например, в работе ^{12/}, с использованием пучка ускоренных ионов ¹¹B, при помощи резонансной ядерной реакции $\text{H}(^{11}\text{B}, \alpha) ^2\text{He}$ была измерена концентрация водорода в поверхностном слое толщиной 200Å. Для неочищенной

поверхности она оказалась равной $N_{\sigma} \approx (2 \div 3) \cdot 10^{16}$ н / см², а после очистки могла достигать значений в 5-6 раз меньше. Используя эти экспериментальные значения, для неочищенной поверхности согласно формуле (10) получаем /10/ :

$$\mu \approx 1 \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

при $\rho_2 \approx \rho_0 \approx 10^6$ см⁻¹ и $\bar{E}' \approx 10$ эВ ($\bar{\rho}' \approx 2 \cdot 10^8$ см⁻¹), что соответствует наблюдаемым в эксперименте значениям. Учитывая же, что очистка поверхности различными методами не приводит к полному удалению водорода, снижая лишь в несколько раз его концентрацию (см. /13/), приходим к выводу, что загрязнение поверхности сосуда водородом является универсальной (практически не зависящей от материала стенок) причиной утечки (нагрева) УХН из сосудов, и определяет минимальное значение параметра $\eta \sim 2 \cdot 10^{-4}$.

Для полного подтверждения этой гипотезы необходимо было установить взаимосвязь между временем хранения УХН и температурой сосуда Т, то есть доказать существование температурной зависимости $\mu(T)$ (см. (10), (13 а-в)). В ряде экспериментов (например, /14/) удавалось наблюдать температурную зависимость $\mu(T) \sim \sqrt{T}$ только для неочищенных поверхностей. Отсутствие такой явной зависимости для обработанных поверхностей приводило авторов к выводам о незначительной роли водорода для "чистых" сосудов. Однако в этих экспериментах не всегда тщательно контролировалось состояние поверхности после обработки и обычно не учитывалась возможность изменения концентрации водорода в поверхностном слое с температурой. Отметим, кроме того, что для сильно связанного водорода (который, согласно /12,13/, сохраняется после обычных методов очистки) температурная зависимость $\mu(T)$ должна отсутствовать вплоть до самых низких температур (см. (13в) и более подробно /10/).

Прямое подтверждение гипотезы об определяющей роли водорода в нагревании УХН было получено лишь в недавних экспериментах, описанных в /8/. Одновременное измерение потока нейтронов $\Phi(T)$, вылетающих из сосуда с УХН, и коэффициента $\eta(T)$ в зависимости от температуры Т, показало, что как Φ , так и η явно зависят от температуры и пропорциональны друг другу: $\eta(T) \sim \Phi(T)$.

При этом оказалось, что предельное при $\Phi \rightarrow 0$ значение η на порядок меньше наблюдаемых в эксперименте значений $\eta \sim (2 \div 3) \cdot 10^{-4}$ (при Т = 300 К), что доказывает, что все процессы, кроме нагревания УХН (за вычетом процессов ядерного захвата нейтронов) не играют существенной роли в определении времени хранения УХН. Прямым же доказа-

тельством нагревания УХН явилось измерение энергии вылетающих из сосуда нейтронов - она примерно соответствовала температуре стенок сосуда. Поскольку единственным рассеивателем, который мог бы обеспечить столь большое значение коэффициента η , мог быть только водород (в концентрациях, обнаруженных в других экспериментах /12,13/), то необходимо было признать загрязнение поверхности сосуда водородом как основную причину значительного уменьшения времени хранения УХН по сравнению с теоретическими предсказаниями для чистых сосудов.

Последним подтверждением этого вывода явилось наблюдение в /9/ увеличения времени хранения УХН в сосуде после напыления на его поверхность слоя тяжелой воды D₂O толщиной ~ 2000 Å, который обеспечивал действительно чистую поверхность и позволял получить достаточно большое время хранения УХН, сравнимое с временем β-распада нейтронов.

Таким образом, гипотеза о водородном загрязнении стенок сосудов для хранения УХН, высказанная в работе /5/ на основании чисто теоретических оценок, в настоящее время полностью подтвердилась.

Литература

1. Зельдович Я.Б. ЖЭТФ, 1959, 36, с.1952.
2. Лушиков В.И., Покотиловский Д.Н., Стрелков А.В., Шапиро Ф.Л., Письма в ЖЭТФ, 1969, 9, с.40.
3. Труды II Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1974, ОИЯИ, ДЗ-7991, Дубна, 1974.
4. Блохинцев Д.И., Плакида Н.М. Препринт ОИЯИ Р4-9631, Дубна, 1976.
5. Блохинцев Д.И., Плакида Н.М. Препринт ОИЯИ Р4-10381, Дубна, 1977.
6. Blokhintsev D.I., Plakida N.M. phys.stat.sol.(b), 1977, 82, p.627.
7. Игнатович В.К., Сатаров Л.М. Препринт ИАЗ № 2820, М., 1977.
8. Морозов В.И. Хранение ультрахолодных нейтронов в замкнутых сосудах. Обзор. Димитровград, НИИАР, 1982, 76 с.
9. Косвинцев Д.Д., Морозов В.И., Терехов Г.И. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, с. 346.
10. Плакида Н.М. Сообщение ОИЯИ Р17-81-91, Дубна, 1981.
11. Стрелков А.В., Хетцельт М. Препринт ОИЯИ Р3-10815, Дубна, 1977.
12. Bugeat J.P., Mampe W. Zeit.Phys., 1979, В35, p.273.
13. W.Mampe, P.Ageron, R.Gahler. Zeit.Phys., 1981, В45, p.1.
14. Косвинцев Д.Д., Кушнир Д.А., Морозов В.И. и др. Препринт ОИЯИ Р3-8091, Дубна, 1980.

КАЛИБРОВОЧНАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ

Д.Д.Иваненко, Г.А.Сарданашвили

Московский государственный университет
им.М.В.Ломоносова

Калибровочная теория (КТ) стала в настоящее время универсальным методом описания динамики взаимодействий посредством калибровочных (компенсирующих) полей, отвечающих группе симметрий данного взаимодействия. Общеизвестны успехи калибровочных моделей электрослабого и сильного взаимодействий. Большинство вариантов их объединения также базируется на КТ.

Более того, используя математический аппарат расслоений и трактуя калибровочные поля - потенциалы взаимодействия - как связности расслоений, КТ фактически реализует известную идею геометризации взаимодействий, легшую в основу программы единых теорий 20-х годов. Но именно теория гравитации - первая геометризованная теория поля - долгое время не поддавалась калибровочной трактовке, хотя работы по КТ гравитации (Утияма, Иваненко, Шама, Киббл) появились сразу за известной статьей Янга и Миллса 1954 г. (см. /1/).

Главная трудность состояла в том, что калибровочные поля - это связности, а в ОТО гравитационное поле - метрическое (или тетрадное).

В первой калибровочной модели гравитации Утиямы 1956г., основанной на группе симметрии Лоренца, тетрадное гравитационное поле вводилось дополнительно к калибровочным полям группы Лоренца (связностям геометрии Эйнштейна - Картана) для компенсации обзеквариантных преобразований, однако калибровочный статус этого поля оставался неясным. Этот недостаток пытались устранить в рамках КТ группы Пуанкаре, трактуя гравитационное тетрадное поле как калибровочное поле группы трансляций. Такой подход долгое время доминировал в КТ гравитации, но к полностью удовлетворительному результату не привел (см. §5).

В попытках представить гравитационное поле как калибровочное, упускалось из виду, что в КТ, помимо калибровочных полей, в ситуации спонтанного нарушения симметрии возникает также хиггс-голдстоновские поля. Поле именно такого типа и оказывается эйнштейновское гравитационное поле, как мы показываем, исходя не-

посредственно из принципов относительности и эквивалентности, реформулируемых в терминах КТ /2-4/. При этом, в отличие от голдстоновских полей внутренних симметрий, гравитационное поле является динамическим, что обусловлено спецификой КТ и спонтанного нарушения пространственно-временных симметрий. В результате КТ гравитации представляет собой аффинно-метрическое обобщение эйнштейновской ОТО, динамическими переменными в котором являются метрика (хиггс-голдстоновское поле) и связность (калибровочное поле). Последняя, в отличие от ОТО, содержит в себе не только собственно гравитационную часть - символы Кристоффеля или спинорные коэффициенты Фока - Иваненко, но и поле кручения, источником которого служит спин материи, а в общем случае и компоненту неметрического (вейлевского) переноса (см. §4).

Построение КТ гравитации представляется необходимым шагом по включению гравитации в объединенную картину фундаментальных взаимодействий. Вклад гравитации в наблюдаемые процессы взаимодействия элементарных частиц незначителен из-за чрезвычайной малости гравитационной константы, однако не следует игнорировать возможность учета еще саламовской "сильной" гравитации /5/, "сильного" кручения, супергравитации /6/. В последнее время выяснилась существенная роль космологических моделей для отбора вариантов гранд-единых теорий по их предсказанию рождения частиц и синтеза элементов в ранней Вселенной /7/.

Новые возможности предоставляет хиггс-голдстоновская трактовка гравитационного поля. В КТ, помимо взаимодействия посредством калибровочных полей, в ситуации спонтанного нарушения симметрии имеет место взаимодействие частиц с инвариантным вакуумом, описываемым хиггс-голдстоновскими полями. Представление последних как коллективных полей (см. §2), т.е. своего рода связанных состояний частиц, известным примером которых являются куперовские пары, побуждает к аналогичной трактовке и гравитационного поля, константы и действие которого становятся тогда зависящими от модели частиц /8/. Гравитационное поле, а значит, и структура пространства-времени оказываются как бы составной частью инвариантного (физического) вакуума частиц. Такой вакуум во многом похож на своего рода конденсат, который мог образоваться в результате иерархической цепочки фазовых переходов, сопровождавшихся выделением тех или иных симметрий и типов взаимодействий /9/. Началом этой цепочки, как мы предполагаем, может

быть особое состояние, когда (например, в экстремальных условиях Большого взрыва), благодаря интенсивным флуктуациям метрики, изменениям топологии, взаимным трансмутациям частиц и гравитонов, все характеристики материи и пространства теряют привычный смысл и имеет место своеобразное объединение обычной материи с геометрической и топологической ареной ("праматерия" + "прагеометрия").

Модель такого состояния, по нашему мнению, могут дать праспиноры — объекты с простейшей группой морфизмов Z_2 , отвечающих элементарным высказываниям "да-нет". Системы праспиноров описываются группами Кокстера, а сами они могут играть роль как универсальных преонов, так и (что близко идеям Уилера) своего рода первичных элементов геометрической и топологической структур пространства-времени /Ю, II/.

Публикация в сборнике, посвященном прекрасному советскому физики Д.И.Блохинцеву, является честью для каждого автора. Развивая свои соображения о структуре теории гравитации и объединения гравитации и пространства-времени с обычной материей, мы тем самым стараемся продолжить и устремления Дмитрия Ивановича Блохинцева, которым он посвятил свою столь стимулирующую книгу /I2/.

§1. Калибровочная теория в формализме расслоений

Применение аппарата расслоений (см. /I3-I5/) в теории поля основывается на представлении полей как сечений расслоений.

Пусть $\{\varphi(x)\}$ — некоторый мультиплет классических полей на многообразии X со значениями в векторном пространстве V , реализующем представление группы Ли симметрий G . В формализме расслоений материальные поля $\{\varphi\}$ описываются как глобальные сечения дифференцируемого векторного расслоения $\lambda = (V, X, G, \psi_\lambda)$ с базой

X , типичным слоем V , структурной группой G и атласом расслоения $\psi_\lambda = \{U_i, \varphi_i\}$, где (U_i, φ_i) — области и морфизмы тривиализации расслоения λ . Атлас расслоения ψ_λ и атлас многообразия ψ_X фиксируют систему отсчета и систему координат. По отношению к ним поля φ представляются V -значными функциями $\varphi_i(x) = \varphi_i(x) \varphi(x)$, $x \in U_i$, на областях тривиализации расслоения λ , а преобразования атласов ψ_λ и ψ_X индуцируют соответственно калибровочные (группа $G(X)$ сечений ассоциированного с λ главного расслоения) и координатные преобразования полевых функций.

Поскольку преобразования атласа ψ_λ представляют собой преобразования эквивалентности расслоения λ , требование калибро-

вочной инвариантности системы полей $\{\varphi\}$ представляется вполне естественным. Таким образом, описание полей в формализме расслоений ведет непосредственно к калибровочной теории, а калибровочные поля отождествляются с коэффициентами I-формы связности A на расслоении λ , принимающей значения в алгебре Ли $L(G)$ группы G . Калибровочные преобразования

$$g(x): A \rightarrow gAg^{-1} + dg g^{-1}$$

формы A выглядят как обобщение на неабелевы группы калибровочных преобразований электромагнитного потенциала.

Необходимо отметить, что ряд авторов определяет калибровочные преобразования не как изменения атласа расслоения (т.е. системы отсчета, когда поля как сечения расслоения не преобразуются, но изменяется их запись полевыми функциями, $\varphi = \varphi_i \varphi \rightarrow \varphi'_i = \varphi'_i \varphi$), а как послынное отображение тотального пространства расслоения, когда преобразуются сами поля $\varphi_i = \varphi_i \varphi \rightarrow \varphi'_i = \varphi'_i \varphi' / I6/$. Это различие вызвано разным пониманием выбора калибровки: или как выбора системы отсчета, или как выбора определенного представителя из класса калибровочно-смежных полей. На КТ внутренних симметрий оно сказывается мало. Однако в КТ пространственно-временных симметрий, если следовать второму определению, получается, что и калибровочным преобразованиям не относятся обобщенные преобразования (голономные преобразования систем отсчета) и возникает сложность с включением ОТО в такую калибровочную схему.

§2. Спонтанное нарушение симметрии вакуума

Для КТ стало характерным предположение о неинвариантности вакуума относительно тех или иных преобразований. Взаимодействие с таким вакуумом приводит к эффектам, без которых многие калибровочные модели потеряли бы реалистичность. Неинвариантность вакуума моделируют, вводя в схему КТ хиггс-голдстоновские поля. При этом встает вопрос об истинной физической природе этих полей. Особенно острым он становится для КТ гравитации в связи с хиггс-голдстоновской трактовкой гравитационного поля. Рассмотрим эту проблему.

Будем исходить из характеристики вакуума (общей для всех его определений) как тотализирующего вектора представления алгебры наблюдаемых. Пусть B — C^* -алгебра (с единицей) наблюдаемых некоторой системы, и G — группа автоморфизмов B , таких, что

действие G на B непрерывно по G . Пусть f - состояние на B . Оно определяет представление π алгебры B в гильбертовом пространстве H , являющемся пополнением факторпространства B/N , где $N = \{b: f(bb^*) = 0\}$, с тотализирующим вектором (вакуумом) $|>$ - образом 1_B при каноническом отображении $\eta: B \rightarrow B/N \cong \mathbb{C}$.

Рассмотрим действие G на f . Для каждого $g \in G$ определим состояние $f_g(B) = f(g^{-1}(B))$. Возможны два варианта.

1. Состояние f_g связано с тем же представлением π , что и f . Можно показать, что это имеет место тогда и только тогда, когда g является аппроксимативно внутренним автоморфизмом алгебры B . В этом случае $f = f_g$, т.е. f - инвариантно относительно g , и g реализуется унитарным оператором $g(g)$ на H так, что $\pi(g(b)) = g(g)\pi(b)g^{-1}(g)$ и $\eta(g(b)) = g(g)\eta(b)$ /17/. В частности, вакуум $|>$ - g -инвариантен.

2. Состояния f и f_g определяют неэквивалентные представления. Рассмотрим отображение $\tau_g: H \ni \eta(b) \rightarrow \eta_g(b) \in H_g$. Оно получается факторизацией автоморфизма $B \rightarrow g(B)$, который согласуется с факторизациями B по N и $g(N)$. Это отображение задает изоморфизм гильбертовых пространств H и H_g , переводит вакуум $|>$ в вакуум $|>_g$ и индуцирует отображение $\tau_g: \pi(B) \rightarrow \pi_g(B)$, которое, однако, не есть эквивалентность представлений.

Отметим, что отображение τ_g позволяет все представления, получаемые из данного представления алгебры B в результате ее автоморфизмов, реализовать в одном и том же гильбертовом пространстве H как $\pi_g(B) = \pi(g^{-1}(B))$. При этом π и π_g будут неэквивалентны тогда и только тогда, когда существует такой элемент $b \in B$, что $\langle |\pi(b)| \rangle \neq \langle |\pi(g(b))| \rangle$.

Пусть теперь в B действуют две группы автоморфизмов: группа пространственно-временных симметрий G_{ex} , оставляющая инвариантным состояние f , и группа внутренних симметрий G_{in} , нарушающая инвариантность f . Состояние $f_g, g \in G_{in}$, является G_{ex} -инвариантным, если группы G_{ex} и G_{in} коммутируют. Этого не будет, если они не коммутируют.

Важным для нас таким случаем является тот, когда G_{ex} содержит подгруппу трансляций T , а G_{in} - группа локальных преобразований $G(T)$. Пусть состояние f инвариантно относительно элемента $g \in G(T)$, такого, что $dg - gd = d(g) \neq 0$, где d - генератор T . Тогда состояние f_g оказывается трансляционно-инвариантным, т.е. существует такой элемент $b \in B$, что

$$f_g(db) = f(g^{-1}(db)) = f(dg^{-1}(b)) - f(d(g^{-1}(b))) \neq 0.$$

Вместо этого f_g инвариантно относительно параллельного переноса с генератором $D = d - dg g^{-1}$, а в общем случае, когда состояние f само T -инвариантно, $D = d - A$, где A имеет смысл калибровочного поля.

В реальных калибровочных моделях алгебра B представляет собой тензорную алгебру векторного пространства $Q = \{\psi, A\}$ полей классической модели, т.е. $B = \bigoplus_N (B \otimes Q) / \mathcal{I}, n = 0, 1, \dots$, где \mathcal{I} - идеал, порожденный тензорами $q \otimes q' - q' \otimes q$ из бозонных полей и $q \otimes q' + q' \otimes q$ - из фермионных полей. Алгебра B в общем случае не является даже нормированной, но основные свойства вакуума, полученные выше, сохраняются.

Назовем состоянием на B формальную линейную форму f , сопоставляющую всякому элементу $b = q_{a_1} \otimes \dots \otimes q_{a_k}$ из B его полную (неперенормированную) функцию Грина

$$G(b) = N^{-1} \int b \exp(iS) d\mu, \quad (1)$$

где S - действие классической системы, а $d\mu$ - определенная мера на Q . Состояние f , как и в случае C^* -алгебр, задает представление B в векторном пространстве $H = B/N$ с тотализирующим вектором $|>$. В общем случае это пространство не нормировано, и векторы состояний системы не являются хорошо определенными. Однако на H можно ввести билинейную форму $\langle h | h' \rangle = \langle |b_h^* b_{h'}| \rangle = f(b_h^* b_{h'})$, которая определяет норму вакуума $\langle |> = 1$ и позволяет интерпретировать $G(b)$ как среднее по вакууму $\langle |b| \rangle$.

Рассмотрим в такой модели ситуацию спонтанного нарушения симметрии вакуума, когда он инвариантен относительно калибровочной группы симметрий $G(X)$ исходной классической системы. Как и выше, для всякого элемента $G(X) \ni g: q \rightarrow q'$ определим новое состояние f_g , задаваемое функциями Грина

$$G_g(b') = N^{-1} \int b' \exp iS(q') d\mu' = G(b)$$

(при переходе к регуляризованному действию S эти соотношения представляют собой обобщенные тождества Жорда). Состояние является g -инвариантным, если существует такой элемент b , что $G(b) \neq G_g(b)$. Однако в КТ это может иметь место и при инвариантном вакууме, что связано с инвариантностью меры $d\mu$ относительно калибровочных преобразований. Поэтому мы будем гово-

рять, что симметрия вакуума нарушена, если только состояние f неинвариантно и относительно нелокальной группы G . При этом G может содержать подгруппу точных симметрий P , оставляющую состояние f инвариантным.

Множеству неинвариантных вакуумов калибровочной модели можно поставить в соответствие множество глобальных сечений σ ассоциированного с λ (из §I) расслоения ξ с типичным слоем — пространством W , которое содержит P -инвариантные, но G -неинвариантные точки, обозначающие подпространство W_P . В роли W могут выступать факторпространство G/P , алгебра Ли $L(G)$, другие пространства представлений группы G . Сечение σ должно удовлетворять условию инвариантности относительно параллельного переноса

$$(d-A)\sigma = 0, \quad (2)$$

где A — некоторая связность на λ , откуда следует, что σ не может принимать значения в G -инвариантных точках, если оно не соответствует точному вакууму. Согласно известным теоремам [13, 14], такое сечение существует тогда и только тогда, когда структурная группа расслоения λ редуцирована к P . При этом для каждого σ имеется атлас, относительно которого σ представляется P -инвариантным полем со значениями в подпространстве W_P .

Проведенное сопоставление позволяет в явном виде моделировать неинвариантность вакуума квантовой системы посредством включения в действие классической системы S взаимодействия полей модели с полем σ . Такое включение сохраняет $G(x)$ -ковариантность действия модели, $S(q, \sigma) = S(q', \sigma')$, но нарушает его G -инвариантность как действия для полей q , в результате чего возникают ненулевые аномальные вакуумные средние $\langle |b^i| \rangle \neq 0$ от G -неинвариантных элементов $b^i \in B$, что и приводит к нарушению G -симметрии вакуума, поскольку $f_g(b^i) = f((g^{-1})^j b^j) = (g^{-1})^j f(b^j) \neq f(b^i)$ для $g \in G$.

Включение поля σ в классическое действие приводит к трактовке его самого как классического (хиггс-голдстоновского) поля. Обычно для его описания выбирается действие

$$S_\sigma = \int dx \left(\frac{1}{2} (D\sigma)^2 + \mu^2 \sigma^2 - \lambda^2 \sigma^4 \right), \quad (3)$$

приводящее к релятивистскому аналогу уравнения Гинзбурга — Ландау. Однако такое включение само по себе выглядит как искусственный прием, а поле σ — лишь как моделирующее свойство неинва-

риантного вакуума, но физическая природа которого не ясна. Ее можно выявить, если связать поле σ с материальными полями модели, представив его как своего рода коллективное поле.

Для этого (см. метод коллективных переменных, например, в [18]) добавим к действию S некоторое затравочное действие поля σ и введем в производящий функционал Z для функций Грина (I) функциональное интегрирование по полям σ . Действие S_σ выбирается (обычно $S_\sigma = \int -\mu \sigma^2 dx$) исходя из того, что уравнение поля $\delta S / \delta \sigma = 0$ выражает σ как связанное состояние материальных полей модели. Интегрирование Z по σ ведет к восстановлению взаимодействия самих полей q друг с другом, ответственного за возникновение неинвариантного вакуума. В свою очередь, поле σ описывается эффективным действием S_{eff} , получаемым вместо S интегрированием Z по материальным (и калибровочным) полям, что эквивалентно представлению взаимодействия полей модели как взаимодействия между их связными состояниями σ и суммированию диаграмм этого взаимодействия по всем внутренним линиям полей q . Действие S_{eff} оказывается, как правило, неполиномиальным, зависит от модели и отличается от повсеместно применяемого для хиггс-голдстоновских полей действия (3), которое тоже может быть получено методом коллективных полей, но в некоторых частных случаях, допуская ряд приближений.

Собственно неинвариантный вакуум описывается классическим решением σ_0 уравнения $\delta S_{eff} / \delta \sigma = 0$, соответствующим стационарному минимуму действия S_{eff} , и наибольший вклад в производящий функционал Z дают поля σ , близкие к σ_0 . Разложив $\sigma = \sigma_0 + \sigma'$, можно записать S_{eff} для возмущений σ' над вакуумом σ_0 , а выделив в S_{eff} квадратичную часть, определить спектр этих возмущений, построить для них теорию возмущений.

В калибровке $\sigma_0(x) \in W_P$ всякое поле σ , близкое к σ_0 , представимо в виде

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_P + \omega, \quad (4)$$

где $(\sigma_0 + \omega)$ принадлежит орбите $G(x)\sigma_0$, а σ_P , как и σ_0 , принимает значения в W_P . P -инвариантную компоненту $(\sigma_0 + \sigma_P)$ поля σ обычно называют хиггсовским полем, а ω — голдстоновским. Сам вакуум σ_0 должен подчиняться условию ковариантной трансляционной инвариантности (2), откуда следует, что $\sigma_0 = c \cos kt$, т.е. σ_0 не является динамическим полем. Нединамическими в КТ

внутренних симметрий оказываются и голдстоновские поля. Выбором калибровки поле $G_0 + \omega$ приводится к P -инвариантному полю и голдстоновские поля убираются в состав калибровочного поля. Таким образом, из компонент хиггс-голдстоновского поля в КТ внутренних симметрий только хиггсовские возмущения оказываются динамическими.

Наличие ненулевых аномальных функций Грина, возможность цели в спектре коллективных возбуждений G' при $G_0 \neq 0$ побуждает рассматривать неинвариантный вакуум в КТ как своего рода конденсат. Эта идея была высказана довольно давно на основе сходства действия (3) для хиггс-голдстоновского поля с действием для поля куперовских пар (см., например, /19/), прямым аналогом которых в одном из вариантов единых моделей стали пары так называемых "техникварков" /20/. Метод коллективных переменных позволяет представить хиггс-голдстоновское поле как связанное состояние реальных частиц. Этим методом описывается и конденсат куперовских пар /21/, но, в отличие от хиггсовского конденсата, он связан с группой существенно квантовых преобразований $\varphi^+ \leftrightarrow \varphi^-$, что приводит к неинвариантности по полному числу частиц, а следовательно, и по любой симметрии, которой эти частицы обладают. В случае куперовских пар - это фазовые преобразования. При этом, поскольку в условии (3) для этого конденсата фигурирует не электромагнитный потенциал, он не является нединамическим. Нединамический же характер хиггсовского конденсата в КТ внутренних симметрий делает проблематичной его наблюдаемость.

Ситуация меняется при переходе к КТ пространственно-временных симметрий.

§3. Калибровочная теория гравитации

КТ гравитации во всех вариантах строится как КТ некоторой группы пространственно-временных симметрий. Естественно потребовать, чтобы такая теория включала в себя и эйнштейновскую ОТО, а значит, она должна согласовываться с принципами относительности и эквивалентности, положенными в основу ОТО, но формулируемыми в терминах КТ и формализма расслоений /3,4/.

В этом формализме гравитационное поле на гладком ориентируемом многообразии X^4 представляется как глобальное сечение расслоения Λ псевдоевклидовых билинейных форм в касательных прост-

ранствах к X^4 . Λ ассоциировано с касательным расслоением $T(X)$ со структурной группой $GL^+(4, R)$ и изоморфно расслоению Σ на факторпространство $GL^+(4, R)/SO(3, 1)$, глобальное сечение которого h , изоморфное g , описывает гравитационное поле в тетрадной форме. Отсюда, согласно известным теоремам, необходимым и достаточным условием существования гравитационного поля на многообразии X является редукция структурной группы расслоения $T(X)$ к группе Лоренца $SO(3, 1)$, а тем самым и к ее максимальной компактной подгруппе $SO(3)$. Это означает существование такого атласа $\Psi^g = \{U_i, \varphi_i^g\}$ расслоения $T(X)$, функции перехода которого сводятся к элементам локальной группы Лоренца или $SO(3)$, и относительно которого поле g принимает вид метрики Минковского $g_i^j = \eta_{ij}$ (2) во всех картах, а тетрадное поле h имеет значение в центре факторпространства $GL^+(4, R)/SO(3, 1)$.

Отметим, что поле h может быть представлено как сечение главного $GL^+(4, R)$ -расслоения, но определяемое с точностью до локальных лоренцевских преобразований. Тогда относительно произвольного атласа $\Psi = \{U_i, \varphi_i\}$ оно может быть записано матричными функциями $\{h_i(x), x \in U_i\}$, действующими в типичном слое расслоения $T(X)$ и совпадающими с матрицами перехода из атласа Ψ^g в атлас Ψ , $\varphi_i = h_i \varphi_i^g$. Отсюда, в частности, следует известное соотношение $g_i^j = h_i^A(\varphi) h_B^j(\varphi)$ (или в индексной форме $g_{AB} = h_A^A h_B^B \eta_{AB}$), а произвол в задании тетрадных функций h_i связан с неоднозначностью выбора атласа Ψ^g .

Принцип относительности. В ОТО принцип относительности требует ковариантности физических законов (уравнений) при преобразованиях системы отсчета.

В формализме расслоений выбор системы отсчета в теории гравитации определяется как фиксация атласа Ψ касательного расслоения $T(X)$, а группой преобразований систем отсчета является калибровочная группа $GL^+(4, R)(X)$. Это определение близко к определению систем отсчета в тетрадной формулировке ОТО. Действительно, выбор атласа расслоения $T(X)$ делает возможным задание во всех точках многообразия X тетрад $\{t_x\} = h_i(\{t\})$, где $\{t\}$ - базисный репер типичного слоя R^4 , и их преобразования индуцируются преобразованиями атласа Ψ . Традиционной общековариантной формулировке ОТО отвечает случай голономных систем отсчета, когда выбор атласа расслоения $T(X)$ согласуется $\Psi = \{U_i, \varphi_i = \alpha \varphi_i^g\}$ с координатным атласом $\Psi_x = \{U_i, \varphi_i^g\}$ многообразия X ,

и это согласование поддерживается при преобразованиях систем отсчета и координат.

Таким образом, принцип относительности в теории гравитации в формализме расслоений может быть сформулирован как требование ковариантности уравнений относительно калибровочной группы

$GL(4, R)(X)$, и в таком виде оказывается идентичным калибровочному принципу в КТ группы внешних симметрий $GL(4, R)$, а теория гравитации может непосредственно строиться как КТ.

Однако КТ группы $GL(4, R)$ оказывается слишком широкой для описания гравитации, и, в частности, допускает возможность других, кроме псевдоримановой, метрик. Это делает необходимым рассмотреть в КТ гравитации принцип эквивалентности.

Принцип эквивалентности. В ОТО принцип эквивалентности дополняет принцип относительности и призван гарантировать переход к СТО в некоторой системе отсчета.

На геометрическом языке СТО можно охарактеризовать как геометрию инвариантов группы Лоренца (в духе эрлангенской программы Ф.Клейна) и сформулировать принцип эквивалентности как требование сохранения этих инвариантов при параллельном переносе и переходах с карты на карту в некоторой системе отсчета. Это означает, что связность Γ в касательном расслоении $T(X)$, будучи калибровочным полем группы $GL(4, R)$, в некоторой системе отсчета сводима к калибровочному полю группы Лоренца, а тем самым имеет место и редукция структурной группы расслоения $T(X)$ к группе Лоренца, что, как отмечалось, является условием существования гравитационного поля g на X . Связность Γ и поле g связаны условием метричности

$$(d - \Gamma)g = 0, \quad (5)$$

и его выполнение для некоторой псевдоримановой метрики g на X является необходимым и достаточным условием, чтобы Γ была лоренцевской связностью. Из (5), в частности, следует, что Γ принимает значения в алгебре Лоренца в атласе \mathcal{U}^g .

Таким образом, принцип эквивалентности сводит КТ гравитации к КТ группы Лоренца и обуславливает само существование гравитационного поля. При этом возникает ситуация, подобная спонтанному нарушению симметрии.

Действительно, существуют такие системы отсчета (атласы \mathcal{U}^g), относительно переходов между которыми посредством калиб-

ровочных преобразований группы Лоренца действие S материальных полей остается инвариантным. Относительно калибровочной группы $GL(4, R)(X)$ общих преобразований систем отсчета действие S ковариантно, что обеспечивается за счет присутствия гравитационного (метрического g или тетрадного h) поля. Эта ковариантность S в производимом функционале Z для функций Грина материальных полей приводит к неинвариантности вакуума этих полей относительно группы $GL(4, R)$, и роль хиггс-голдстоновского поля, отвечающего за эту неинвариантность, играет гравитационное поле.

Как и хиггс-голдстоновские поля в КТ внутренних симметрий, гравитационное поле представляет собой глобальное сечение расслоения, типичным слоем W которого служит факторпространство группы спонтанно нарушенных симметрий $GL(4, R)$ по группе Лоренца точных симметрий (т.е. хиггсовские возбуждения у такого поля отсутствуют), а условием его существования — редукция структурной группы ассоциированного с $T(X)$ расслоения материальных полей к группе Лоренца. Условие метричности (5) является аналогом условия (2) ковариантной трансляционной инвариантности хиггс-голдстоновского вакуумного поля, откуда следует, что эйнштейновское метрическое поле само по себе уже является таким вакуумным полем. Однако, в отличие от случая внутренних симметрий, этот вакуум не хиггсовский. Это обусловлено спецификой пространственно-временных симметрий, которые преобразуют не только полевые функции, но и операторы ∂ частных производных, являющиеся векторами в касательных пространствах. Однако эти векторы имеют смысл частных производных только в голономных системах отсчета. В неголономной системе отсчета, когда метрическое поле приведено к метрике Минковского, векторы $\partial_A = h_A^{\mu} \partial_{\mu}$ включают в себя компоненты тетрадного гравитационного поля. Это означает, что собственно гравитационное поле, представляющее собой голдстоновские отклонения псевдоримановой метрики от метрики Минковского, никакой калибровкой в общем случае убрано быть не может. Это и обуславливает его динамический характер как неинвариантного вакуума в КТ пространственно-временных симметрий, и обеспечивает его наблюдаемость.

Гравитационное поле, аналогично хиггс-голдстоновским полям внутренних симметрий, может быть представлено как коллективное поле $/S/$. Для такого поля в качестве затравочного можно выбрать, например, действие, содержащее только космологический член $S_g =$

$= \int \sqrt{-g} \Lambda dx$. Эффективное же действие S_{eff} , получаемое интегрированием Z по всем материальным полям, представимо в виде ряда по степеням тензора кривизны R гравитационного поля, регуляризованные коэффициенты которого зависят от модели материальных полей. В частности, первый по степени R член этого ряда восстанавливает гильберт-эйнштейновское действие ОТО, но с индуцированной гравитационной постоянной /8/. S_{eff} является действием для квантовой гравитации. При этом, в отличие от хиггс-голдстоновских полей внутренних симметрий, любое гравитационное поле может быть взято за классический вакуум, а другие поля будут рассматриваться как квантовые возмущения над ним.

Впервые идея о гравитоне как голдстоновской частице, отвечающей нарушению лоренцевской инвариантности из-за искривления пространства-времени, была высказана в середине 60-х годов Гейзенбергом и Иваненко при обсуждении возможной связи космологических и вакуумных асимметрий.

Она была возрождена в 70-е гг. в связи с применением метода нелинейных реализаций (варианта индуцированных представлений) групп для описания спонтанного нарушения симметрии.

Нелинейное представление группы G строится в пространстве произведения $W_P \times G/P$ как комбинация линейного представления картановской подгруппы P группы G в некотором пространстве W_P и представления G левыми сдвигами в факторпространстве $G/P/2Z$. Обычно ограничиваются рассмотрением малой окрестности единицы группы G , элементы которой могут быть записаны в экспоненциальной форме $g = (\exp \omega I)_P$, где $P \in P$, а I - генератор G , не принадлежащий $L(P)$. Нелинейное представление может быть построено в виде

$$G \ni g: W_P \times G/P \ni \sigma = \sigma_0 + \sigma_P + \omega \rightarrow \sigma_0 + \sigma_P' + \omega', \quad (6)$$

где $(\sigma_0 + \omega') \in G/P$, а $\sigma_P' \in W_P$ находится из выражения $(\exp \omega' I)_P = g(\exp \omega I)$, $\sigma_P' = P \sigma_P$. В описании спонтанного нарушения симметрии группы G до подгруппы P параметры ω трактуются как голдстоновские частицы, имеющие в общем случае нелинейный закон G -преобразований. Разложение (4) поля σ вблизи P -инвариантного вакуума σ_0 является примером нелинейной реализации (6).

То, что метрическое гравитационное поле возникает при построении нелинейных реализаций группы $GL^+(4, R)$, было впервые от-

мечено в работах /23,24/. В плане спонтанного нарушения симметрии группы $GL^+(4, R)$ и трактовки гравитационного поля как голдстоновского этот вопрос подробно исследовался Нееманом /25,26/. Однако эта трактовка основывалась лишь на изоморфизме пространства псевдоевклидовых билинейных форм в R^4 и факторпространства $GL^+(4, R)/SO(3, 1)$, игнорируя геометрические аспекты гравитации.

С позиций геометрической формулировки КТ на хиггс-голдстоновскую природу гравитационного поля было указано нами /2-4/ и Траутманом /27/. При этом мы исходим непосредственно из принципов относительности и эквивалентности, реформулируемых в терминах КТ и расслоений.

Дадим теперь краткий анализ некоторых основных калибровочных моделей гравитации. Приведем таблицу пространственно-временных групп, чьи калибровочные модели претендуют на описание гравитации:

$$\begin{array}{ccc} SO(3, 1) & \xrightarrow{\quad} & SO(4, 1) \\ \downarrow & \searrow \Pi \text{---} & \downarrow \\ GL^+(4, R) & \rightarrow & GA(4, R) \rightarrow GL(5, R), \end{array}$$

где Π обозначает группу Пуанкаре.

Калибровочные модели линейных групп $SO(3, 1)$, $GL(4, R)$ основываются на их реализации как группы голономии связности на касательном расслоении $T(X)$, структурная группа которого редуцирована к группе Лоренца. Они одинаковым образом содержат псевдориманову метрику, обусловленную этой редукцией, но различаются связностями, приводя соответственно к геометриям Эйнштейна - Картана и Эддингтона.

Калибровочные модели аффинных групп Π , $GA(4, R)$ предусматривают рассмотрение аффинных расслоений (см. §5). От калибровочных моделей линейных групп они отличаются тем, что гравитационное тетрадное поле в них пытаются строить как калибровочное поле группы трансляций. Вариантами аффинных калибровочных теорий гравитации являются и калибровочные модели линейных групп $SO(4, 1)$, $GL(5, R)$, которые строятся на векторных расслоениях, но сведение которых к КТ группы Пуанкаре требует соответствующих условий редукции и приводит к появлению добавочных хиггсовских и голдстоновских полей /28-30/.

§4. Калибровочная теория группы Лоренца

Мы показали, что выполнение принципов относительности и эквивалентности непосредственно приводит к КТ группы Лоренца с расширением группы Лоренца точных симметрий до группы $GL^+(4, R)$ спонтанно нарушенных симметрий. Тем самым эта теория является минимальной калибровочной моделью, которая включает в себя ОТО, но, что важно отметить, не сводится к ней, а совпадает с теорией Эйнштейна - Картана гравитации с кручением /31,32/. Эта теория начала развиваться как ближайшее обобщение ОТО с работ Картана 1922 г., но затем была оставлена, главным образом потому, что источник кручения - спин - тогда еще не был открыт. Она стала возрождаться в конце 40-х годов, но окончательное признание получила с развитием КТ гравитации, когда кручение оказалось неотъемлемой частью этой теории, поскольку не нашлось группы, КТ которой описывала бы чистую гравитацию.

Как и во всякой аффинно-метрической теории, в теории Эйнштейна - Картана возможны два варианта выбора динамических переменных. В первом - это метрическое поле g и калибровочное поле Γ ; связанные условием метричности (5). Во втором варианте связь (5) разрешается, в результате чего связность Γ расщепляется на символы Кристоффеля и тензор конторсии K , $\Gamma = \{ \} + K$, и в качестве независимых динамических переменных выбираются тензорные величины g и K . В первом варианте лагранжиан теории выражается через тензор кривизны полной связности Γ . Во втором случае его можно взять в виде

$$L = L_\varphi + L_g + L_K, \quad (7)$$

где L_φ - лагранжиан материальных полей, L_g - лагранжиан отдельно гравитационного поля, а L_K - лагранжиан поля кручения. В отличие от первого случая, гравитационное поле и поле кручения могут входить в такой лагранжиан (7) независимо, в частности, кручение с константой взаимодействия, отличной от гравитационной, например, значительно большей, что делает возможной гипотезу о "сильном" кручении.

В отличие от КТ внутренних симметрий, в КТ внешних симметрий имеется всегда два типа калибровочных преобразований. Первый обусловлен преобразованиями атласа расслоения λ материальных

полей, а второй - атласа касательного расслоения. Эти атласы эквивалентны, но не обязательно совпадают, поскольку типичный слой λ может вообще не допускать нелоренцевских преобразований. Именно такое спинорное расслоение было фактически рассмотрено в 1929 г. в работах Фока, Иваненко, Вейля, и известные коэффициенты Фока - Иваненко представляют собой лоренцевские связности в таком расслоении. Поэтому два этих типа калибровочных преобразований независимы и приводят к разным законам сохранения. Первый - к тождествам Нётер, где ток симметрий материальных полей, соответствующий группе Лоренца, - это спиновый ток, а второй - к закону сохранения тензора энергии.

То, что источником поля кручения является спин материальных полей, делает его существование особенно правдоподобным. Предсказывается ряд интересных эффектов, связанных с кручением. Например, оно может вызывать осцилляции правого и левого нейтрино (де Саббата), противодействовать образованию гравитационных сингулярностей, способствовать формированию "инфляционной" де Ситтеровской стадии ранней Вселенной (В. Пономарев, П. Пронин), вышедшей сейчас на первый план с точки зрения удовлетворения моделям гранд-объединения /7/. Особенно важной представляется обнаружившаяся связь кручения с нелинейным 4-спинорным взаимодействием /33/, по отношению к которому оно является коллективным полем (П. Пронин, А. Гвоздев). Это взаимодействие было положено в основу единой нелинейной теории Гейзенберга - Иваненко 50-60 гг. Сейчас интерес к нему возродился как к низкоэнергетическому пределу взаимодействия посредством калибровочных полей. Оно рассматривается в ряде преонных моделей, с ним связана возможность фазовых переходов, ответственных, возможно, за удержание кварков.

Непосредственным обобщением КТ группы Лоренца является КТ группы $GL(4, R)$, которая добавляет в связность Γ компоненту Q неметрического переноса, отвечающую нелоренцевским генераторам $GL(4, R)$. Это нарушает принцип эквивалентности и, в частности, приводит к сложностям с описанием спинорных полей в такой теории. Его строят в рамках нелинейного представления $GL(4, R)$ на парах (ψ, g) спинорного и гравитационного полей, где Q действует только на гравитационное поле. Это лишает поле Q источников в лице материальных полей. Q должно иметь своим источником так называемый дилатонный ток или гипермомент /34,35/, но его физическая интерпретация остается пока неясной.

§5. Калибровочная теория группы Пуанкаре

КТ группы Пуанкаре была предложена в начале 60-х годов Шамой, Кябблом, Б.Фроловым как обобщение КТ гравитации Утиями. Они исходили из совпадения тензорного вида калибровочного поля группы трансляций A_μ^a с тетрадным полем и ставили целью показать их тождественность. Вместе с тем построение КТ группы Пуанкаре казалось важным и само по себе, поскольку эта группа является фундаментальной динамической группой СТО.

Однако такое построение столкнулось с трудностью, вызванной именно спецификой группы Пуанкаре как динамической группы. Эта специфика состоит в том, что, в отличие от преобразований внутренних симметрий и спиновых преобразований группы Лоренца, которые изменяют полевые функции в точке, динамические симметрии реализуются дифференциальными операторами, которые, с одной стороны, можно рассматривать как операторы координатных преобразований, с другой — как операторы перехода из точки в точку. В плоском пространстве обе эти интерпретации эквивалентны, но различаются в пространстве со связностью.

Авторы первых работ по КТ группы Пуанкаре придерживались координатной интерпретации, и к локализации лоренцевских спиновых преобразований добавляли локализацию координатных трансляций $X^\mu \rightarrow X^\mu + a^\mu(x)$. Последняя приводила к группе общекоординатных преобразований, которая из условия согласования системы координат и системы отсчета индуцировала в свою очередь подгруппу голономных (общековариантных) преобразований калибровочной группы $GL(4, R)(X)$, которые, как очевидно, не имеют ничего общего с калибровочной группой трансляций $\Pi(X)$.

Процедура построения КТ группы Пуанкаре, основанная на интерпретации трансляций как переходов из точки в точку, была предложена Ф.Хелем и др. /31,35/ и включала в себя, помимо обычной локализации групповых параметров, замену в выражениях для генераторов группы частных производных ∂_μ на ковариантные $D_\mu = \partial_\mu - \Gamma_\mu$, где Γ — некоторая лоренцевская связность. Однако D_μ не являются генераторами локальной группы Пуанкаре, хотя бы потому, что не удовлетворяются ее коммутационные соотношения, например, $[D_\mu, D_\nu] \neq 0$. Авторы такого подхода сами говорят о нем как о калибровочном, только в некотором нетрадиционном смысле /35/.

Стандартная схема КТ может быть применена к группе Пуанкаре, если ее рассматривать не как динамическую, а как абстрактную структурную группу и группу голономии некоторого аффинного расслоения /36-39,30/. В таком расслоении может быть введена I-форма связности, коэффициенты которой будут составлять калибровочные поля группы Пуанкаре. Эта связность может быть разделена на две компоненты, $A = A_L + A_T$, где A_L является лоренцевской связностью, а $A_T = A_\sigma^a T_a dx^\sigma$ — I-форма со значениями в векторном пространстве R^4 , коэффициенты которой являются калибровочными полями группы трансляций T . Исследуем связность A_T .

Поскольку факторпространство $\Pi/SO(3,1)$ гомеоморфно R^4 , всегда существует глобальное сечение σ расслоения на факторпространства $\Pi/SO(3,1)$ над паракомпактной базой. Тогда в A_T можно выделить две компоненты, $A_T = A_\sigma + h_T T_a$, где $A_\sigma = d\sigma$ определяется из условия $(d - A_\sigma)\sigma = 0$. Очевидно, что именно A_σ отвечает за неоднородную часть калибровочных преобразований трансляций связности A_T , тогда как форма h_T инвариантна относительно этих преобразований. Более того, выбором трансляционной калибровки компонента A_σ связности A_T всегда может быть убрана, а связность A_T сведена к тетрадоподобной составляющей h_T .

Фиксируем эту калибровку. Тогда можно установить соответствие между связностью A в аффинном расслоении и парой (A_L, h_T) , состоящей из лоренцевской связности в касательном расслоении и R^4 -значной формой h_T на X^4 :

$$A = \begin{pmatrix} A_L & h_T \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} R & Dh_T \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где связность A и ее кривизна F представляются (5.5)-матрицами, действующими на столбцы $\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix}$, $\xi \in R^4$, а D и R обозначают соответственно ковариантную производную и кривизну, отвечающие связности A_L . Видно совпадение тензорных рангов поля h_T и тетрадного поля h . Но можно ли их отождествить?

Поле h_T определяет некоторые линейные отображения $h_T(x): T_x \rightarrow T_x$ касательных пространств T_x в каждой точке $x \in X$. Относительно некоторого атласа расслоения $T(X)$ оно представляется семейством матричных полей $\{h_{T_i}\}$, действующих, как и тетрадные поля $\{h_i\}$, в пространстве типичного слоя R^4 расслоения $T(X)$. Однако при калибровочных преобразованиях (преобразованиях атласа) поле h_T изменяется как $h_{T_i} \rightarrow g h_{T_i} g^{-1}$, тогда как

$h_i \rightarrow g^i h_i$. Это различие и не позволяет отождествить калибровочные поля группы трансляций с тетрадным гравитационным полем, поскольку, будучи установленной в одном атласе, их тождественность нарушится при переходе к другому атласу. Кроме того, калибровочные поля h_T могут обращаться в 0, что недопустимо для тетрадных полей, тогда как последние, в свою очередь, определены лишь с точностью до лоренцевских преобразований.

Таким образом, мы видим, что и в стандартной КТ группы Пуанкаре придать гравитационному полю смысл калибровочного поля группы трансляций, что могло бы быть альтернативой его хиггс-голдстоуновской трактовке, по-видимому, не удастся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Элементарные частицы и компенсирующие поля / Под общ. ред. Д.Иваненко. - М.: "Мир", 1964.
2. Sardanashvily G. Phys.Lett., 1980, v.75A, p.257.
3. Ivanenko D., Sardanashvily G., Lett.Nuovo Cim., 1981, v.30, p.220; Dokl.Bulg.Akad.Nauk, 1981, v.34, p.1237.
4. Иваненко Д., Сарданашвили Г. Изв.вузов, Физика, 1981, №6, с.79.
5. Sivaram C., Sinha K. Phys.Reports, 1979, v.51, p.III.
6. Niewenhuizen P. Phys.Reports, 1981, v.68, p.189.
7. Ellis J. GUTs, Astrophysics and Superunification. - Preprint 3354-CERN, 1982.
8. Adler S.L. Rev.Mod.Phys., 1982, v.54, p.729.
9. Ellis J. Grand Unified Theories. - Preprint 2942-CERN, 1980.
10. Иваненко Д., Сарданашвили Г. Изв.вузов, Физика, 1980, №2, с.54.
11. Ivanenko D., Sardanashvily G. Dokl.Bulg.Akad.Nauk, 1981, v.34, p.1073.
12. Блохинцев Д.И. Пространство и время в микромире. - М.: "Наука", 1982.
13. Кобаяси Ш., Номидзу К. Основы дифференциальной геометрии. - М.: "Наука", 1981.
14. Зуланке Р., Винтген П. Дифференциальная геометрия и расслоения. - М.: "Мир", 1975.
15. Eguchi T., Gilkey P., Hanson A. Phys.Reports, 1980, v.66, p.213.
16. Даниэль М., Виалле С. УФН, 1982, т.136, с.377.

17. Диксмье Ж. C^* -алгебры и их представления. - М.: "Наука", 1974.
18. Первушин В., Райнхарт Х., Эберт Д. ЭЧАЯ, 1979, т.10, с.III5.
19. Киржниц Д.А., Лянде А.Д. ЖЭТФ, 1974, т.67, с.1263.
20. Ellis J. Phenomenology of Unified Gauge Theories. - Preprint TH-3174-CERN, 1981.
21. Попов В.Н. Континуальные интегралы в квантовой теории поля и статистической физике. - М.: Атомиздат, 1976.
22. Coleman S., Wess J., Zumino B. Phys.Rev., 1969, v.177, p.2239.
23. Огиевецкий В.И., Полубаринов И.В. ЖЭТФ, 1965, т.48, с.1625.
24. Isham C., Salam A., Strathdee J. Ann.Phys., 1971, v.62, p.98.
25. Ne'eman Y., Sijacki Dj. Ann.Phys., 1979, v.120, p.292.
26. Ne'eman Y. In: General Relativity and Gravitation. - N.Y. and London: Plenum Press, 1980, p.309.
27. Trautman A. Czech.J.Phys., 1979, v.829, p.107; In: General Relativity and Gravitation. - N.Y. and London: Plenum Press, 1980, p.393.
28. Dreshler W. J.Math.Phys., 1977, v.67, p.145.
29. Inomata A., Trinkala M. Phys.Rev., 1979, v.D19, p.1668.
30. Tseytlin A. Phys.Rev., 1982, v.D26, p.3327.
31. Hehl F., P.von der Heyde, Kerlick G., Nester J. Rev.Mod. Phys., 1976, v.48, p.393.
32. Ivanenko D. In: Relativity, Quanta, and Cosmology. - N.Y.: Johnson Repr.Corp., 1980, p.295.
33. Krechet V., Ponomarev V. Phys.Lett., 1976, v.A56, p.74.
34. Hehl F., Lord E., Ne'eman Y. Phys.Rev., 1978, v.17D, p.428.
35. Hehl F., Nitsch J., P.von der Heyde. In: General Relativity and Gravitation. - N.Y. and London: Plenum Press, 1980, p.329.
36. Cho J. Phys.Rev., 1976, v.D14, p.2521.
37. Mansouri F., Chang L. Phys.Rev., 1976, v.D13, p.3129.
38. Petti R. GRG, 1976, N.7, p.869; GRG, 1977, N8, p.887.
39. Norris L., Fulp R., Davis W. Phys.Lett., 1980, v.79A, p.278.

I know that Professor Dimitry Blokhintsev will be sorely missed at Dubna. He will also be missed by his colleagues all over the world. His contributions were great. I shall miss him as a physicist, a colleague, and a friend. Dubna will not be the same without him.

Edwin L. Goldwasser
President of IUPAP

Я знаю, что профессора Дмитрия Блохинцева не будет хватать в Дубне, не будет хватать его и коллегам во всем мире, так велик был его вклад в науку. Мне также не будет хватать его как физика, товарища и друга. А Дубна без него будет совсем не та.

Эдвин Л. Голдвассер
Президент ИЮПАП



I have known well, and I remember vividly our close collaboration when he was Director of Dubna and I Director of CERN. He was a wonderful colleague and an enthusiastic scientist. He and I were trying very hard to increase the scope of collaboration between the United States, Western Europe and the Soviet Union, and I do believe that with his energetic help we have achieved a number of successes in this respect.

The Soviet physics community and also the world community of physicists have suffered a great loss. It is up to us to try to continue his efforts in physics and in international collaboration.

Victor F. Weisskopf

Я хорошо помню наше тесное сотрудничество, когда Д. Блохинцев был директором Объединенного института ядерных исследований, а я директором ЦЕРНа.

Он был замечательным коллегой и ученым-энтузиастом. Мы пытались многое сделать для улучшения сотрудничества между Соединенными Штатами, Западной Европой и Советским Союзом.

Я надеюсь, что с его энергичной помощью мы достигли значительного прогресса в этом отношении. Советские физики, как и физики всего мира, испытывают большую потерю с его смертью, и мы будем стараться продолжать его усилия в физической науке и в международном сотрудничестве.

Виктор Вайскопф
Кембридж, Массачусетс, США



Professor D.I. Blokhintsev played a leading part in establishing the initial scientific exchanges between JINR and CERN nearly twenty years ago which paved the way for the subsequent collaboration between CERN and many research institutes in the Soviet Union. We remember also his valuable contributions at international conferences and at the early Riga-type meetings initiated by JINR and CERN. Both the Joint Institute and the Community of Soviet scientists have lost an outstanding physicist famous both for his contributions to theoretical physics and to international understanding.

J. B. Adams

L. Van Hove

Профессор Д.И. Блохинцев играл ведущую роль в установлении первых научных обменов между Объединенным институтом ядерных исследований и ЦЕРНом, приблизительно 20 лет назад, которые открыли путь для дальнейшего сотрудничества между ЦЕРНом и многими исследовательскими институтами в Советском Союзе. Мы помним его значимый вклад в международные конференции и в первые симпозиумы типа Рижского, инициированные ОИЯИ и ЦЕРНом.

Объединенный институт ядерных исследований и все советские ученые потеряли выдающегося физика, великого и по вкладам в теоретическую физику и в международное взаимопонимание,

Адамс и Ван Хов

Женева, ЦЕРН



U.S. citizens greatly regret passing of our brilliant Russian colleague D. Blokhintsev.

N. F. Ramsey

Граждане США скорбят об уходе нашего коллеги, замечательного русского физика Д. Блохинцева.

Н.Ф. Рамсей

Президент Американского физического общества



Le Professeur Blokhintsev etait une grande figure de la physique et a oeuvre pour la cooperation scientifique entre l'Union Sovietique et la France.

Jean Yoccoz
Louis Jauneau

Профессор Блохинцев внес выдающийся вклад как в физику, так и в развитие научного сотрудничества между Советским Союзом и Францией.

Жан Жокко
Луи Жоно

Национальный институт,
Институт ядерной физики и физики частиц



The loss of Professor Dmitry Blokhintsev is not only ours but also of the world of science at large.

Tetsiji Hishikawa

Потеря профессора Дмитрия Блохинцева, которая постигла нас, не только наша, но и всего научного мира в целом.

Тетсiji НИШИКАВА
Генеральный директор КЕК, Япония



О Г Л А В Л Е Н И Е

Б.М.Барбашов, А.В.Ефремов, В.Н.Первушин Дмитрий Иванович Блохинцев. Очерк научной деятельности	3
Д.И.Блохинцев 50 лет советской науки	18
И.М.Франк Ученый и инженер	21
В.П.Дзелепов Страстный борец за мир	32
В.С.Барашенков Тридцать лет назад	43
И.М.Тернов О педагогической работе Д.И.Блохинцева	45
Е.П.Шабалин Мыслитель и поэт	51
Г.В.Ефимов Вспоминая учителя	52
В.Г.Соловьев Слово об ученом	53
Д.И.Блохинцев Свет из Калуги	61
Д.И.Блохинцев Импульсный "Быстрый"	73
Д.И.Блохинцев Две ветви познания мира	77
Я.А.Сморodinский О квантовых ансамблях	92
В.В.Налимов Вероятностный подход к описанию явлений, происходящих на глубинных уровнях сознания	98
В.Н.Первушин Принципы общей теории относительности в контексте развития современной физики	122
Д.И.Блохинцев Проблема распространения и генерации звука потоком	139

Е.М.Жмулин Об основополагающих работах Д.И.Блохинцева по акустике неоднородной движущейся среды	141
В.С.Петровский Судьба книги	147
А.В.Ефремов Флуктоны Д.И.Блохинцева и релятивистская ядерная физика	150
В.И.Комаров Флуктуационная модель Д.И.Блохинцева и экспериментальные исследования на синхротроне ЛЯП ОИЯИ	159
В.М.Дубовик, И.Т.Обуховский О различных подходах к несохранению четности в низкоэнергетическом pp -рассеянии	165
Н.М.Плакида Теория нагрева ультрахолодных нейтронов и ее экспериментальная проверка	177
Д.Д.Иваненко, Г.А.Сарданшвили Калибровочная теория гравитации	184

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1986 года.

85-570

Редакторы Б.Б.Колесова, Э.В.Ивашкевич.
Макет Р.Д.Фоминой.

Подписано в печать 04.06.86.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 13,26.
Тираж 500. Заказ 37774.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.