

P2-2012-52

Н. П. Коноплева<sup>\*,1</sup>

## А. З. ПЕТРОВ И ЕГО ВРЕМЯ: МОИ ВОСПОМИНАНИЯ

Направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ»

---

\*E-mail: [nelly@theor.jinr.ru](mailto:nelly@theor.jinr.ru); [vniiem@orc.ru](mailto:vniiem@orc.ru)

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт электромеханики,  
Москва

Коноплева Н. П.

P2-2012-52

А. З. Петров и его время: мои воспоминания

Статья содержит личные воспоминания автора о сложившейся в СССР в 60-е–70-е гг. XX в. ситуации в области геометрии, общей теории относительности и теоретической физики, в которой приходилось работать А. З. Петрову, а также о его вкладе в организацию научных исследований в этих областях знаний.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2012

Konopleva N. P.

P2-2012-52

A. Z. Petrov and His Times: My Reminiscences

The situation in geometry, relativity theory and theoretical physics, which was in the 60s–70s of the 20th century in the USSR, is under discussion. The author tells us about Petrov's works on General Relativity, and his contribution to scientific research organization in the above-mentioned fields.

The investigation has been performed at the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2012

*Посвящается 100-летию А. З. Петрова*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, Алексей Зиновьевич Петров является одним из выдающихся советских математиков, ученым с мировым именем. Наиболее известная часть его работ посвящена изучению структуры римановых пространств. Частным случаем таких пространств являются пространства, геометрия которых ограничена уравнениями Эйнштейна [1]. А. З. Петров создал принципиально новые алгебраические методы для их исследования и классификации (классификации Петрова [2, 3]).

Это произошло в конце 50-х – начале 60-х гг. XX в. Результаты, полученные А. З. Петровым, представляли собой неожиданный и очень важный этап в изучении общей теории относительности Эйнштейна, поскольку позволяли без интегрирования сложных нелинейных уравнений этой теории провести классификацию их решений, опираясь на алгебраические свойства симметрии тензора кривизны пространства-времени и тензора конформной кривизны. Отметим, что для тензора кривизны уравнения Эйнштейна являются алгебраическими. В итоге для каждого типа решений оказалось возможным указать их общий вид, что значительно облегчало их нахождение. Результаты А. З. Петрова были в дальнейшем детализированы в аналогичных классификациях Пенроуза и других авторов [4].

Другая петровская классификация решений уравнений Эйнштейна является классификацией римановых пространств по группам движений, допускаемых ими. Эта классификация принципиально важна для выяснения физического смысла общей теории относительности, поскольку позволяет изучать свойства симметрии риманова пространства как целого и, следовательно, математически корректно формулировать понятие динамических констант, описывающих движение материальных тел в таких пространствах. В частности, А. З. Петров обнаружил, что в общем случае римановы пространства могут не допускать никаких групп движений. В таких пространствах построение каких-либо динамических констант становится проблематичным [5–7].

В 70-х гг. XX в. мировая космическая техника достигла такого уровня развития, который позволял измерять тонкие физические эффекты, предсказываемые эйнштейновской теорией тяготения, с хорошей степенью точности. Поэтому стало возможным на регулярной основе проводить гравитационные эксперименты в космосе с целью выяснить, какая из предложенных к тому

времени теорий тяготения более соответствует действительности. Результаты этих исследований показали, что общая теория относительности является наилучшей релятивистской теорией гравитации среди имевшихся в то время [8]. За прошедшие с тех пор годы ситуация не изменилась. Недавно Стэнфордский университет и НАСА сообщили, что получены новые подтверждения справедливости ОТО в экспериментах со спутниками Земли. На спутнике Gravity Probe B, запущенном в 2004 г., изучалась геодезическая прецессия, а несколько ранее в итальянском эксперименте был подтвержден эффект Лензе–Тирринга. К сожалению, в 1972 г. А.З.Петров умер и не узнал об этих результатах.

До начала 1970-х гг. ОТО опиралась лишь на три эффекта, измеренных экспериментально: смещение перигелия Меркурия, отклонение луча света вблизи края солнечного диска и космологическое красное смещение. Точность измерения этих эффектов была не слишком высокой. Поэтому теория гравитации Эйнштейна считалась скорее математической, чем физической теорией. Кроме того, принцип общей ковариантности, лежащий в основе математической структуры ОТО, не позволял по принятым в физике правилам получать законы сохранения, характеризующие движение материальных тел в поле тяготения. В первую очередь это относится к закону сохранения энергии. Поэтому даже в качестве чисто математической теории ОТО вызывала резкую критику со стороны некоторых авторитетных ученых [9,10]. В.А.Фок предлагал даже отказаться от принципа общей ковариантности и заменить его каким-нибудь более узким принципом симметрии, чтобы иметь возможность строить обычным образом с помощью первой теоремы Нетер [11] законы сохранения (в том числе закон сохранения энергии).

Жаркая дискуссия по этому поводу разгорелась в 1968 г. на V Международной гравитационной конференции в Тбилиси.

На этой конференции В.А.Фок выступил с большим программным докладом, в котором предлагалось заменить ОТО какой-нибудь приближенной теорией тяготения, основанной на конечно-параметрической группе симметрии Ли с большим числом параметров, и отказаться от принципа общей ковариантности.

Мне пришлось выступить после доклада В.А.Фока с замечанием, что роль локальных симметрий в физике отличается от роли глобальных симметрий. Если глобальные симметрии позволяют нам описывать *свойства* частиц (через законы сохранения), то локальные симметрии связаны с *существованием* взаимодействий этих частиц (или полей). Поэтому не следует отказываться от эйнштейновского принципа общей ковариантности, но нужно использовать его по его назначению.

На фотографии, подаренной профессором Д.Бриллом профессору А.Аминовой и мне на конференции «Petrov-2010», отражен момент на заседании тбилисской конференции. Рядом с В.А.Фоком сидят И.М.Халатников



Международная конференция в Тбилиси в 1968 г.

и Я. А. Смородинский. Автор данной статьи находится во втором ряду снизу. Мой доклад, включенный в программу конференции, назывался «О гравитационных волнах и калибровочных полях».

Я к этому моменту уже написала свою кандидатскую диссертацию, хотя еще ее не защитила. Она называлась «Геометрическое описание взаимодействий» и лежала в Ученом совете ФИАН СССР. В частности, в ней было показано, каким образом уравнения теории Эйнштейна воспроизводятся в формализме теории калибровочных полей. Эта теория является универсальным способом описания любых взаимодействий элементарных частиц, причем в ее основе, как и в ОТО, лежат локальные симметрии, описываемые бесконечными группами Ли. Геометрия расслоенных пространств позволяет использовать при построении физической теории оба типа симметрий: конечнопараметрические группы Ли с числовыми параметрами преобразований и бесконечные группы Ли с параметрами преобразований, зависящими от точки пространства-времени (в том числе риманова пространства-времени).

Результаты, изложенные в упомянутой выше диссертации, я докладывала в 1967 г. в Казани на конференции «Гравитация и теория относительности», организованной А. З. Петровым на базе КГУ. Мой доклад тогда назывался «Вариационный формализм для бесконечных групп и теория поля». Д. Д. Иваненко вычеркнул меня из числа участников, а А. З. Петров снова вставил. Дополнительно я рассказывала на этой конференции о геометрической интерпретации калибровочных полей в терминах геометрии расслоенных пространств. Среди участников конференции был молодой математик

из Ленинграда Л. Д. Фаддеев, который рассказал о квантовании калибровочных полей с помощью континуальных интегралов (только что полученные им совместно с В. Н. Поповым результаты). В дальнейшем Л. Д. Фаддеев часто выступал на гравитационных конференциях, но приезжал почему-то всегда без В. Н. Попова.

Нужно заметить, что геометрия расслоенных пространств в те годы находилась в стадии своего создания так же, как и теория калибровочных полей. Как у математиков, так и у физиков еще не сложилась общепринятая терминология. Отдельные группы ученых пробовали различные варианты построения того и другого. Для того чтобы осознать возникновение нового направления в геометрии, как и в физике, и, более того, понять, что эти направления имеют непосредственное отношение друг к другу, для широкой научной общественности понадобились годы. Но первым человеком, который это сделал, была я. Это произошло потому, что, занимаясь теорией калибровочных полей (которую солидные физики из школы Ландау считали нефизической и бесперспективной теорией), я ходила на мехмат МГУ им. М. В. Ломоносова, где на кафедре П. К. Рашевского именно тогда был семинар профессора Г. Ф. Лаптева, занимавшегося разработкой геометрии расслоенных пространств. Кроме того, я прослушала на мехмате курсы лекций профессора А. М. Васильева по бесконечным группам Ли и лекции доцента Л. Е. Евтушика по геометрии расслоенных многообразий. Никто не подсказывал мне, что нужно изучать именно эти дисциплины и никто не направлял мои интересы в эту сторону. Наоборот, с точки зрения взглядов, господствовавших в те годы среди физиков-теоретиков, я делала то, что не нужно. Но я искала ответы на вопросы, возникавшие у меня при построении собственного варианта теории калибровочных полей, следуя только логике математических построений и физической интуиции. Я искала математику, способную стать языком новой физики. И этот путь оказался правильным. Он не только узаконил теорию калибровочных полей, но и помог лучше понять теорию тяготения Эйнштейна.

С точки зрения внутритеоретической логики А. З. Петров считал общую теорию относительности «колоссом на глиняных ногах». Его смущало то обстоятельство, что левая часть уравнений Эйнштейна была чисто геометрической, тогда как правая содержала тензоры энергии-импульса материи, которые формировались из физических соображений и были связаны с экспериментом. Ему хотелось видеть единство левой и правой частей уравнений Эйнштейна в том смысле, что они обе должны описывать объекты одной и той же природы, либо чисто геометрической, либо чисто физической. Как ни странно, того же мнения придерживался и сам Эйнштейн. Одно из направлений его работ состояло в том, чтобы, исключив из рассмотрения тензор массы, т. е. положив  $T_{\mu\nu} = 0$ , описать движение частиц в поле тяготения как движение сингулярностей самого поля тяготения. В частности, Эйнштейн

надеялся таким образом описать движение электрона в гравитационном поле. В. А. Фок считал эти работы попыткой построить альтернативную квантовую механику и категорически возражал против них. Д. Д. Иваненко, напротив, воспринимал их с большим интересом и обеспечил быстрый перевод на русский язык книги Л. Инфельда и Е. Плебаньского «Движение и релятивизм», вышедшей в Варшаве в 1960 г.

Русский перевод появился в продаже в 1962 г. К этому переводу Д. Д. Иваненко привлек своего сына Михаила и меня. Тогда мы были студентами третьего курса физфака МГУ им. М. В. Ломоносова и учились на кафедре статистической физики и квантовой механики, руководимой Н. Н. Боголюбовым (ранее она называлась кафедрой теоретической физики). В 1962 г. вышла из печати на русском языке еще одна очень интересная книга. Она называлась «Гравитация, нейтрино и Вселенная». В качестве автора указан известный американский ученый Дж. Уилер. В действительности Дж. Уилер такой книги не писал. Основу книги составляют лекции Дж. Уилера, прочитанные им в 1959 г. в Международной летней школе им. Э. Ферми в Варенне (Италия) и изданные в Болонье в 1960 г. Эти лекции назывались «Нейтрино, гравитация и геометрия». В русской версии книги, выпущенной под редакцией Д. Д. Иваненко, лекции Дж. Уилера дополнены двумя его же оригинальными статьями, а также статьями Дж. Мак-Витти и Ф. Хойля, посвященными космологии. Перевод этой книги на русский язык выполнили тоже мы с Мишей Иваненко. Правда, наши фамилии в издании не указаны. Вместо них стоят фамилии аспирантов Д. Д. Иваненко: Д. В. Белова (в книге Л. Инфельда и Е. Плебаньского) и Н. В. Мицкевича (в книге Дж. Уилера), которые обеспечивали оргработу по изданию (перепечатка, связь с издательством и пр.). Редактировал тексты сам Д. Д. Иваненко. Мы не знали достаточно хорошо ни английского, ни той науки, о которой говорилось в переводимых нами книгах. Приходилось одновременно учиться и тому, и другому. Учитывая, что сроки у издательства были довольно жесткие, работа для нас была архитрудной. Тем более мне было приятно узнать, что Д. Д. Иваненко почти не исправлял моих переводов (я сравнила черновики с окончательным текстом). Каждую из предложенных книг мы делили между собой пополам и переводили, почти не общаясь из-за цейтнота. В результате Миша бросил теоретическую физику и стал заниматься биофизикой, а я «заболела» гравитацией на всю жизнь.

Несмотря на неоднозначное отношение к теории Эйнштейна со стороны физиков и философов, А. З. Петров при поддержке Д. Д. Иваненко в 1960 г. организовал в Казанском университете под своим руководством единственную в СССР кафедру «Теория относительности и гравитация», которая играла весьма важную роль в развитии геометрических и теорфизических исследований в области теории тяготения. Даже после отъезда в 1970 г. А. З. Петрова в киевский Институт теоретической физики, основанный Н. Н. Боголюбовым, где он возглавил отдел с тем же названием, что и его кафедра, оставшиеся

в Казани ученики А. З. Петрова и другие сотрудники его кафедры продолжали и продолжают научные исследования в указанном им направлении. И это несмотря на сверхъестественные трудности, возникшие после распада СССР. Честь им и хвала за беспредельное научное мужество! Для истории науки было бы полезно переиздать сборники трудов конференций, проводившихся под эгидой кафедры А. З. Петрова по теме «Гравитация и теория относительности». Они показали бы историю развития глубоких физических и математических идей в очень важный для науки исторический период второй половины XX в. (чем занялись теоретики, когда атомная бомба была уже сделана, а мирное использование атомной энергии стало, скорее, инженерной, чем научной проблемой). Эйнштейн в Принстоне до конца своих дней, как известно, занимался единой теорией поля.

## 1. ЗА И ПРОТИВ

**1.1. Д. Д. Иваненко и Л. Д. Ландау.** Большое влияние на судьбу А. З. Петрова оказал человек, впервые (в 1932 г.) разгадавший внутреннее устройство атомного ядра. Это был Д. Д. Иваненко, чья протон-нейтронная модель со временем стала классикой ядерной физики, но вначале едва не стоила ему жизни.

В 1932 г. в Ленинградском физико-техническом институте была образована группа «по ядру» под руководством академика А. Ф. Иоффе. Семинар по ядерной физике в группе А. Ф. Иоффе поручили вести Д. Д. Иваненко. В те годы теория ядра считалась абстрактной наукой, далекой от жизни. Когда к А. Ф. Иоффе приходили чиновники с проверками его научной деятельности, он старался прятать следы работ по ядерной физике, поскольку эти работы считались напрасным проеданием народных денег. Особенно трудно приходилось экспериментаторам, которыми в группе А. Ф. Иоффе руководил И. В. Курчатов (зам. начальника группы) [12, 13]. Теоретический ядерный семинар, который вел Д. Д. Иваненко, быстро превратился в общегородской. Работы «по ядру» поддерживал С. М. Киров.

Осенью 1933 г. по инициативе Д. Д. Иваненко в Ленинграде состоялась 1-я Всесоюзная ядерная конференция. Председателем оргкомитета был И. В. Курчатов, ученым секретарем — Д. Д. Иваненко. Фактически это была международная конференция. В ней приняли участие такие выдающиеся иностранные ученые как Ф. Жолио, П. А. М. Дирак, Ф. Перрен, Ф. Разетти, В. Вайскопф, Л. Грей, Г. Бек. С докладом о своей протон-нейтронной модели выступил Д. Д. Иваненко. Это был весьма смелый шаг со стороны 29-летнего ученого, поскольку главные мировые авторитеты в области ядерной физики, такие как Резерфорд и Бор, считали, что внутри ядра находятся протоны и электроны. Для доказательства своей правоты Резерфорд ссылался на результаты экспериментов по бомбардировке ядер. В этих экспериментах реги-



стрировались электроны, которые Резерфорд считал вылетающими из ядра. Если в результате удара по ядру из него вылетают электроны, значит, они были внутри ядра до удара. Так рассуждал Резерфорд. Но Д. Д. Иваненко сформулировал свое возражение в виде вопроса: «Был ли лай внутри собаки до того, как ее ударили палкой?» Этот блестящий вопрос на самом деле предлагал принципиально новую физическую идею — идею рождения электронов в поле ядра. Кроме того, Резерфорд и Бор считали открытый незадолго до этих событий нейтрон сложной системой, состоящей из протона и электрона. А Д. Д. Иваненко, напротив, утверждал, что нейтрон так же элементарен, как и протон. Другую модель ядра, составленного из альфа-частиц, предложил на конференции Г. А. Гамов. Эта модель не вызвала большого интереса слушателей. Расчеты Гейзенберга показали, что Д. Д. Иваненко был прав.

Но в декабре 1934 г. был убит С. М. Киров, а в феврале 1935 г. «как социально опасный элемент» был арестован Д. Д. Иваненко.

В чем же заключалась его социальная опасность? В первую очередь, в организации 1-й Всесоюзной ядерной конференции и дружбе с невозвращенцем Гамовым.

Будучи репрессирован, Д. Д. Иваненко вначале попал в лагерь, а потом ряд лет провел в ссылке. Однако он не сломался, продолжал работать, создал в Томском университете новую научную школу в области ускорителей (совместно с А. А. Соколовым). Позже (в 1944 г.) совместно с И. Я. Померанчуком предсказал синхротронное излучение, открытое экспериментально Д. Блунтом в 1946 г. Благодаря синхротронному излучению оказалось возможным увидеть электроны. В 1947 г. Г. Поллок и его сотрудники наблюдали синхротронное излучение невооруженным глазом.

Именно Д. Д. Иваненко (а не Л. Д. Ландау) организовал в 1929 г. в Харьковском физтехе теоретдел, на базе которого начал издаваться новый физический журнал на иностранных языках, и провел первую в СССР конференцию по теоретической физике (1929 г.), а также ряд совещаний. Основанный Д. Д. Иваненко журнал просуществовал до 1938 г., когда в Москве начал выходить журнал «Journal of Physics USSR». После своего возвращения в Ленинград в 1931 г. Д. Д. Иваненко стал работать в теоретическом отделе Я. И. Френкеля, а на его место в Харьков прибыл Л. Д. Ландау. Здесь и далее при изложении событий кроме моих личных воспоминаний используются устные (надиктованные на магнитофон) воспоминания Д. Д. Иваненко, отредактированные и изданные его учеником Г. А. Сарданашвили [14].

Ядерной физикой Л. Д. Ландау не занимался и в конференции 1933 г. не участвовал. Не занимался он и гравитацией, которую, по словам В. Л. Гинзбурга, называл патологией. Общеобразовательные сведения о теории тяготения Эйнштейна, включенные в том «Теория поля» Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица, по-видимому, обязаны своим появлением Е. М. Лифшицу, который со-

вместно с И. М. Халатниковым занимался космологией. Д. Д. Иваненко с юных лет интересовался теорией относительности, как специальной, так и общей, а также фундаментальными принципами, лежащими в основе построения физических теорий. Еще в старших классах гимназии он в подлиннике изучал труды Канта.

В 1929 г. совместно с В. А. Фоком Д. Д. Иваненко решил проблему описания движения электрона в римановом пространстве-времени, дополнив уравнения Дирака «коэффициентами Фока–Иваненко». Впоследствии при появлении в конце 1960-х гг. геометрической теории калибровочных полей эти «коэффициенты» были интерпретированы в моих работах как коэффициенты связности расслоенного пространства с группой Лоренца как калибровочной группой, действующей в слое над римановым пространством-временем.

Благодаря Д. Д. Иваненко физики-теоретики в СССР получили возможность познакомиться с работами классиков релятивизма Г. А. Лоренца, А. Пуанкаре, А. Эйнштейна и Г. Минковского в переводе на русский язык. Сборник этих работ под редакцией и с примечаниями Д. Д. Иваненко и В. К. Фредерикса появился в Ленинграде в конце 1935 г. (вскоре после ареста Д. Д. Иваненко [15]).

В течение 1932–1935 гг. под редакцией и с примечаниями Д. Д. Иваненко на русском языке вышло шесть книг классиков современной физики (Дирака, Гейзенберга, Зоммерфельда, Эддингтона, Луи де Бройля, Бриллюэна) и два сборника работ (Гейзенберга, Шредингера, Дирака и вышеупомянутый сборник классиков релятивизма). Таким образом, советские физики могли на родном языке изучать новейшие физические теории, развивавшие как классические, так и квантовые подходы. С Дираком Д. Д. Иваненко связывала личная дружба [16].

Великая отечественная война помогла многим репрессированным ученым вернуться к относительно нормальной научной жизни. Среди них был и Д. Д. Иваненко. В конце 1943 г. он стал профессором на кафедре теоретической физики физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова и тут же организовал общемосковский ядерный семинар. В результате второго заседания этого семинара появилась знаменитая статья Д. Д. Иваненко и И. Я. Померанчука с предсказанием синхротронного излучения. В 1944 г. Д. Д. Иваненко организовал на кафедре семинар по теоретической физике, который вскоре стал всесоюзным. Семинар был регулярным и проходил по понедельникам. Этот семинар возрождал традиции ленинградских физических семинаров 20-х–30-х гг. XX в., проходивших под руководством А. Ф. Иоффе, В. Я. Френкеля, П. Эренфеста, где обсуждались актуальные проблемы новейшей релятивистской и квантовой физики. Стиль обсуждения на семинарах Д. Д. Иваненко был исключительно демократичным. Выступать могли все: от студентов до нобелевских лауреатов. Любая свежая мысль приветствовалась, если была нетривиальна. Огромная эрудиция Д. Д. Иваненко помогала слу-

шателям (и самим докладчикам) отделять «зерна от плевел». В отличие от Л. Д. Ландау Д. Д. Иваненко никогда не оскорблял докладчиков, что бы они ни говорили. Его возражения могли быть шутливы или уклончивы, но не грубы. Он всегда готов был поддержать любую экстравагантную идею, если она не была очевидно ошибочной.

С конца 50-х гг. XX в. семинар Д. Д. Иваненко начал собираться дважды в неделю: по понедельникам и четвергам. В четверг обсуждались проблемы гравитации. Вскоре был организован семинар для студентов по теории элементарных частиц. Если не считать работ Пуанкаре, которые я прочла самостоятельно на первом курсе («Наука и гипотеза», «Последние мысли»), а также нескольких статей Эйнштейна, то мое знакомство с теоретической физикой возникло благодаря посещению перечисленных семинаров Д. Д. Иваненко. Его авторитет в моих глазах определялся тем, что мы его «проходили в школе», т. е. протон-нейтронная модель ядра с указанием имени автора была включена в школьные учебники физики. Общую теорию относительности Эйнштейна мы тоже «проходили», хотя и очень кратко. Теория Эйнштейна меня настолько заинтересовала, что мне захотелось по аналогии придумать геометрическую теорию электромагнитных взаимодействий, а потом, может быть, объединить ее с эйнштейновской теорией. К третьему курсу (1961 г.) у меня появился вариант такой теории и я рассказала о нем одному из участников семинаров Д. Д. Иваненко Г. А. Соколику. Через несколько дней он, таинственно улыбаясь, молча протянул мне книгу Ю. Б. Румера «Исследования по 5-оптике» [17]. Прочитав (точнее, «проглотив») эту книгу, я обнаружила, что это именно тот путь, по которому я иду. Более того, у меня есть много попутчиков, включая самого Эйнштейна, которые ушли гораздо дальше меня. Но главное, что я поняла благодаря книге Ю. Б. Румера, это то, что *этот путь тупиковый!* Метрический тензор не позволяет вместить такое количество физической информации. Нужно искать другой путь. И я стала ходить на мехмат, слушать лекции П. К. Рашевского и читать труды Эли Картана. Как говорилось выше, новый путь привел к успеху.

Д. Д. Иваненко был реабилитирован только в 1989 г.

**1.2. В. А. Фок и другие.** В. А. Фок — один из корифеев советской науки. Он немного старше трех когда-то неразлучных друзей: Гамова, Ландау и Иваненко. Так же как и они, В. А. Фок — представитель ленинградской школы физики. Он принимал участие в первой мировой войне, был контужен и потерял слух. Если он не хотел кого-либо слушать, то он просто выключал свой слуховой аппарат.

В 1955 г. совпали два события: умер А. Эйнштейн и вышла из печати монография В. А. Фока «Теория пространства, времени и тяготения». В этой монографии представлена авторская трактовка теории тяготения Эйнштейна и содержится критика ее основных положений. Преимущества своего подхода к теории тяготения В. А. Фок формулирует следующим образом.

Во-первых, однозначный выбор решения при однозначном определении (с точностью до преобразований Лоренца) координатной системы. Во-вторых, учет внутренней структуры тел, что было бы невозможно без признания фундаментальной важности тензора массы. В-третьих, поскольку при строгой постановке задачи о движении системы тел необходимо учитывать также и поле, В. А. Фок считал невозможным строгое решение этой задачи в рамках механики системы с конечным числом степеней свободы.

Но главное возражение В. А. Фока против ОТО было связано с общим принципом относительности, т. е. с требованием инвариантности теории относительно произвольных непрерывных преобразований координат. Он считал, что относительность ( $\equiv$  принцип относительности) связана с однородностью свойств пространства как целого. Именно она позволяет формулировать законы сохранения при описании движения систем тел. В теории Эйнштейна пространство-время неоднородно благодаря римановой геометрии, определяющей его свойства только локально. Поэтому нет возможности строить законы сохранения обычным образом и, следовательно, нет возможности установить связь со специальной теорией относительности. Следовательно, нет оснований считать ОТО обобщением специальной теории относительности. Законы сохранения можно формулировать только для островного распределения тел, гравитационное поле которых на больших расстояниях исчезает. Аналогом декартовых систем координат в этом случае будут гармонические координаты, предложенные В. А. Фоком. Работы школы В. А. Фока относились в основном к решению конкретных задач о движении тел во внешнем гравитационном поле.

В. А. Фок был младшим современником А. Эйнштейна и свидетелем появления ОТО. Замечания В. А. Фока следует признать справедливыми, но недостаточными, чтобы заменить теорию тяготения Эйнштейна теорией тяготения Фока. Только богиня Афина сразу вышла совершенной из головы Зевса. Физические теории, как и люди, однажды появившись на свет, достаточно долго совершенствуются и осмысливаются научным сообществом, пока не найдут своего применения. Те, которые не найдут применения, обречены на забвение. Вопрос о законах сохранения в ОТО к настоящему времени решен. Этому способствовали работы А. З. Петрова, хотя сам он этим не занимался. Каким образом рассматривать движение систем многих тел, до конца не ясно, но это конкретная математическая задача.

К сожалению, В. А. Фок считал, что «различия в точках зрения обеих школ (школы Эйнштейна и его собственной — *примеч. автора*) на данные конкретные вопросы не случайны, а связаны с различиями в их общих философских установках» [10, с. 472]. В послевоенные годы В. А. Фок публиковал в «Вопросах философии» и других изданиях критические статьи по поводу идеализма в теории Эйнштейна, на который указывал В. И. Ленин (см., например, [18–20] и т. д.). После такой критики заниматься этой тео-

рией становилось просто опасно. Ситуация стала напоминать первый период развития ядерной физики (см. п. 1.1).

И снова на сцене появился Д. Д. Иваненко. В 1947 г. совместно с А. А. Соколовым он опубликовал в «Докладах АН СССР» статью по квантовой теории гравитации, а также выпустил под своей редакцией перевод книги В. Паули «Теория относительности» [21]. В 1948 г. статья Д. Д. Иваненко и А. А. Соколова была выдвинута на Сталинскую премию, но В. А. Фок дал на нее отрицательный отзыв, указав, что авторы заимствуют результаты М. П. Бронштейна. М. П. Бронштейн был расстрелян в 1938 г. Он был ближайшим другом Д. Д. Иваненко, членом студенческого сообщества, называвшегося джаз-банд и образовавшегося вокруг трех знаменитых друзей (Гамов, Ландау, Иваненко). Когда в 1931 г. у Д. Д. Иваненко родилась дочь, Аббат (прозвище М. П. Бронштейна) устроил обряд наречения имени по испанскому образцу, в результате которого девочку назвали Марианна Бианка. В быту ее называли просто Марьяна. Статья М. П. Бронштейна была недоступна, на нее нельзя было ссылаться. Поэтому повторная публикация этих результатов, известных Д. Д. Иваненко по их совместному с М. П. Бронштейном обсуждению, возвращала их в научное русло и позволяла новому поколению теоретиков продолжать исследования.

Как уже говорилось, в 1950-е гг., несмотря на продолжавшиеся философские выступления В. А. Фока, Д. Д. Иваненко организовал на физфаке МГУ им. М. В. Ломоносова гравитационный семинар под своим руководством и печатал статьи в защиту ОТО. Общая теория относительности успешно развивается и сейчас [22, 23], а трудности, на которые обращал внимание В. А. Фок, последовательно преодолеваются. ОТО, действительно, оказалась физической теорией нового типа, почти не имевшей предшественников. Зато она открыла дорогу новому научному направлению — теории калибровочных полей, составляющей основу современной теоретической физики. Теория калибровочных полей, как и ОТО, построена на использовании локальных симметрий в качестве фундаментальных принципов. Все предшествующие физические теории, включая специальную теорию относительности, в качестве таких принципов используют глобальные симметрии (или не используют никаких симметрий).

В 1960-е гг. Д. Д. Иваненко инициировал и возглавил новое направление в гравитации — постэйнштейновские и обобщенные теории тяготения. За рубежом (например, в Израиле) в то время почти каждый гравитационист стремился построить свой вариант теории тяготения. Но в СССР представители школ Л. Д. Ландау и Я. Б. Зельдовича жестко критиковали тех, кто пытался критиковать или реформировать ОТО. Исключением был В. А. Фок, который, несмотря на свою философскую позицию, работал в рамках ОТО, ограничив круг рассматриваемых задач.

Жертвой нападков стал, например, профессор К. П. Станюкович [24, 25]. Во время Великой Отечественной войны он совместно с Л. Д. Ландау получил уравнение состояния продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ (уравнение Ландау–Станюковича) и вывел формулу, определяющую скорость продуктов детонации [26]. В 1961 г. К. П. Станюкович организовал в рамках Всесоюзного научно-исследовательского института электромеханики (ВНИИЭМ) в Москве лабораторию, занимавшуюся исследованиями в области гравитации. ВНИИЭМ был в те годы единственной гражданской фирмой, разрабатывавшей спутники. Но в 1965 г. К. П. Станюкович из этой фирмы ушел вместе со своей лабораторией ради расширения и превращения ее в отдел в другом институте. Судьба этого отдела не была счастливой. В системе прикладных НИИ, по которым кочевал отдел К. П. Станюковича, постоянно возникали проблемы с финансированием фундаментальных исследований. Создать же собственный институт под такую тематику К. П. Станюковичу не удалось.

После окончания физфака МГУ им. М. В. Ломоносова в 1964 г. я стала работать в лаборатории К. П. Станюковича во ВНИИЭМ и вместе с ней оттуда ушла. Свою кандидатскую диссертацию «Геометрическое описание взаимодействий» [27] я защищала как соискатель, без аспирантуры. Защита прошла в апреле 1969 г. в ФИАН СССР. Оппонирующей организацией была кафедра П. К. Рашевского МГУ им. М. В. Ломоносова. Отзыв подписал профессор А. М. Васильев, лекции которого по бесконечным группам я слушала на мехмате. Оппонентами выступили В. Я. Файнберг и В. Г. Кадышевский. Летом 1969 г. по приглашению профессора А. М. Балдина я рассказывала о своих результатах в Дубне на Международном семинаре по векторным мезонам и электромагнитным взаимодействиям [28]. На этом семинаре присутствовали профессор Тинг, который потом экспериментально открыл  $j/\psi$ -частицы, а также профессор Д. В. Волков из Харькова, предложивший в 1971 г. один из вариантов суперсимметрии. Семинар открывался докладом Л. Д. Фаддеева о квантовании калибровочных полей. Мой доклад был вторым на этом пленарном заседании.

В дальнейшем этот семинар послужил основой для регулярно (раз в два года) проходящих в Дубне международных семинаров «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика». Неофициальное название этого семинара «Балдинская осень». Главными организаторами этих семинаров в течение многих лет были А. М. Балдин и его ученики, ставшие уже профессорами: В. В. Буров и А. И. Малахов.

В феврале 1970 г. я ушла из группы К. П. Станюковича и вернулась во ВНИИЭМ, поскольку тематика «Калибровочные поля» была исключена из планов отдела на следующую пятилетку как «неперспективная». Во ВНИИЭМ я написала книгу «Калибровочные поля», расширив обзорную часть своей диссертации. Несмотря на рекомендацию в печать моей диссер-

тации со стороны Ученого совета ФИАН СССР и лично академика АН СССР М. А. Маркова, прочитавшего рукопись книги, сразу напечатать ее не удалось. При рассмотрении рукописи на редсовете Атомиздата, куда я принесла свою книгу, Я. М. Смородинский сказал: «А, это ее результаты, это неинтересно!» Тогда я решила добавить к моему тексту еще одну главу о квантовании калибровочных полей. Вначале я предложила написать эту главу Л. Д. Фаддееву. Он ответил, что занят другой книгой (о проблеме трех тел), но может передать мое предложение своему соавтору В. Н. Попову, который собирается защищать докторскую диссертацию и имеет готовый текст. Я согласилась, и В. Н. Попов прислал мне свой текст. Наши тексты по стилю изложения оказались очень похожи. Я заменила только оглавление и титульный лист, добавив второго автора, и снова представила рукопись в издательство. На этот раз книга была принята без замечаний [29]. Шла весна 1970 г. Рецензентом рукописи книги был А. М. Балдин. В августе 1970 г. в Киеве на Рочестерской конференции А. М. Балдин рассказал о моих результатах Янгу. Вскоре появилась теория гравитации Янга с квадратичным по тензору кривизны лагранжианом (как у Эддингтона). Из-за проблем с перенормируемостью при ее квантовании эта теория через некоторое время была оставлена.

На той же конференции Л. Д. Фаддеев познакомил меня с В. Н. Поповым. В то время Л. Д. Фаддеев был старшим, а В. Н. Попов — младшим научным сотрудником в лаборатории Ладыженской в ЛОМИ АН СССР в Ленинграде. Наша монография уже лежала в типографии. Я. А. Смородинский, тоже присутствовавший на конференции в Киеве, подошел ко мне и сказал: «Вы придумали очень хороший способ дать мне возможность выйти из игры, сохранив лицо. Фаддееву я мешать не буду». После этого Я. А. Смородинский не только стал другом Л. Д. Фаддеева, но и сам начал заниматься симметриями и организовывать конференции по калибровочным полям. Наши отношения с Я. М. Смородинским до конца его дней были стабильно коллегиальными. На конференциях он всегда интересовался моим мнением по спорным обсуждавшимся вопросам. Лично его больше всего интересовал магнитный монополю.

В печати наша с В. Н. Поповым книга появилась только через два года в 1972 г. (тогда книги печатались медленно) и мгновенно исчезла из продажи. Она стала первой в мире монографией по теории калибровочных полей. Во ВНИИЭМ по инициативе его директора академика и вице-президента АН АрмССР А. Г. Иосифьяна была создана лаборатория теоретической физики под моим руководством. Она просуществовала до 1998 г. Одним из «выпускников» нашей лаборатории является доктор физико-математических наук И. В. Тютин, ставший известным специалистом по супергравитации. Административно наша лаборатория напрямую подчинялась А. Г. Иосифьяну, который был главным конструктором метеорологического спутника «Метеор» и

проявлял интерес к единой теории поля. Он создал для нас условия работы, приближенные к академическим.

Учитывая опыт К. П. Станюковича, я не отказывалась от прикладных работ по тематике института, и проблем с финансированием у нас не было. Но были проблемы с публикациями и внешними контактами. Кроме того, заниматься калибровочными полями мне приходилось только в свободное от основной работы время. Но каждый третий из работавших в нашей лаборатории сотрудников стал кандидатом или доктором наук.

Докторскую диссертацию я защищала в 1983 г. на физфаке МГУ им. М. В. Ломоносова на той кафедре, на которой я училась. Текст диссертации составляли три главы второго издания нашей с В. Н. Поповым книги, посвященные классической теории калибровочных полей и включавшие мои новые результаты. Это издание непосредственно с рукописи было переведено на английский и издано в Америке в 1981 г. [30]. На русском языке 2-е издание появилось в 1980 г. Но для защиты мне пришлось написать не только текст из своей книги, но и добавочную главу о калибровочных теориях с кручением, которыми занимались ученики Д. Д. Иваненко. Это было его условием, чтобы кафедра согласилась принять мою диссертацию к защите. Несмотря на то, что я выполнила все поставленные мне условия, молодые ученики Д. Д. Иваненко пытались сорвать мою защиту. Причина — сотрудничество на ранних стадиях работы с Г. А. Соколиком, который в 1972 г. выехал на лечение в Израиль и не вернулся (виза была дана на два года). Опять «дружба с невозвращенцем»! Но времена изменились, и ВАК утвердил положительное решение Ученого совета. На этот раз оппозирующей организацией был ОИЯИ (Дубна) и его Лаборатория теоретической физики, которая теперь носит имя академика Н. Н. Боголюбова. Отзыв от имени организации подписал академик А. М. Балдин. Предзащита состоялась в ЛТФ ОИЯИ. От имени ВАК на заседании Ученого совета выступил профессор В. Г. Кадышевский.

В 1991 г. я прикомандировалась к Лаборатории теоретической физики в ОИЯИ в Дубне. Это сотрудничество оказалось успешным. Но с 2011 г. институт прикомандирования как способ взаимодействия между сотрудниками разных научных организаций был отменен. Очень жаль. Ведь в науке не столь важно, где человек получает зарплату, сколько к какому научному семинару он принадлежит.

## **2. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ГРАВИТАЦИИ**

**2.1. Теория Эйнштейна.** В международном масштабе систематические исследования в области гравитации начались только после смерти Эйнштейна. 21–27 июня 1959 г. в Париже состоялась Международная конференция, на



которой был создан Международный гравитационный комитет. В его задачи входила организация каждые три года международных конференций. Текущую конференцию решили считать 2-й Международной гравитационной конференцией, а первой признали небольшой симпозиум, состоявшийся в 1955 г. От СССР в парижской конференции участвовали В. А. Фок, А. З. Петров и Д. Д. Иваненко. В Международный гравитационный комитет от СССР вошли В. А. Фок и Д. Д. Иваненко. Позже, в 1962 г., в этот комитет был избран А. З. Петров, а в 1965 г. — В. Л. Гинзбург.

В. А. Фок был весьма раздражен тем, что наравне с ним в Международный гравитационный комитет был избран Д. Д. Иваненко. Он считал себя главным гравитационистом. Когда один из аспирантов А. Л. Зельманова попросил В. А. Фока представить к печати в «Докладах АН СССР» свою статью по гравитационным волнам, В. А. Фок неохотно подписал ее, но сказал: «Зачем Вы этим занимаетесь? Я же все сделал». Это было в конце 1960-х гг. Вопрос о гравитационных волнах до сих пор не решен ни на математическом, ни на экспериментальном уровне. А. З. Петров, в отличие от В. А. Фока, очень живо интересовался гравитационными волнами и, переехав в Киев, организовал в своем отделе экспериментальную группу по гравитационным волнам. В этом ему помогал В. Б. Брагинский, один из учеников Д. Д. Иваненко.

Д. Д. Иваненко был членом Международного гравитационного комитета до 1977 г. В 1973 г. было образовано Международное общество по теории относительности и гравитации, президиумом которого стал Международный гравитационный комитет. От Японии его членом стал Р. Утияма, сделавший в 1956 г. попытку переформулировать теорию Эйнштейна в рамках предложенной им интерпретации теории всех возможных взаимодействий элементарных частиц как теории калибровочных полей, ассоциированных с различными локальными калибровочными группами симметрии. Эта попытка оказалась неудачной (теория Эйнштейна сохранила свой суверенитет), но задача была поставлена и позже (в 1967 г.) решена мною на основе теории представлений бесконечных групп Ли [31].

В июле 1962 г. в Варшаве состоялась 3-я Международная гравитационная конференция. Советскую делегацию возглавлял А. З. Петров. В состав делегации из 10 человек вошли также Д. Д. Иваненко, В. А. Фок и В. Л. Гинзбург. А. З. Петров был введен в состав Международного гравитационного комитета. В. А. Фок попытался вывести Д. Д. Иваненко из состава делегации, но это ему не удалось. Председателем оргкомитета был Л. Инфельд. В конференции приняли участие П. Дирак, Р. Фейнман, Дж. Уилер и др. Однако В. А. Фоку удалось помешать Д. Д. Иваненко поехать на 4-ю Международную гравитационную конференцию, состоявшуюся в 1965 г. в Лондоне. 5-я Международная гравитационная конференция прошла, как уже говорилось, в 1968 г. в Тбилиси. Председателем оргкомитета был В. А. Фок. С большим трудом удалось включить в состав оргкомитета Д. Д. Иваненко, хотя именно он обеспечивал

участие иностранных ученых. Он имел обширные дружеские связи, разговаривал бегло почти на всех европейских языках. Несмотря на ужасный акцент, люди почему-то его легко понимали. А. З. Петров был на этой конференции одним из трех заместителей председателя.

В 1968 г. на заседании Международного гравитационного комитета В. А. Фок предложил вывести Д. Д. Иваненко из его состава. Но Дж. Уилер сказал, что если уйдет Д. Д. Иваненко, то уйдет и он. Д. Д. Иваненко оставили. До 1974 г. в основном через него шли контакты с Международным гравитационным комитетом. Он обеспечивал участие иностранных ученых во 2-й и 3-й Советских гравитационных конференциях и особенно в 5-й Международной конференции.

В 1959 г., вернувшись из Парижа, Д. Д. Иваненко решил организовать в СССР аналогичную гравитационную конференцию. Эту идею он представил в отдел науки ЦК КПСС. Но В. А. Фок был категорически против, писал в ЦК, что конференция преждевременна, отсрочив ее почти на год. Д. Д. Иваненко ссылался на то, что мы можем отстать в развитии таких важных направлений, как баллистические ракеты, спутники и подготовка полета человека в космос, для которых изучение структуры гравитационных полей принципиально важно. Конференцию разрешили. Д. Д. Иваненко утвердили председателем оргкомитета. Заместителем председателя стал А. З. Петров. Конференция была названа межвузовской и проводилась по планам Минвуза СССР. Однако в ней, по предложению Д. Д. Иваненко, приняли участие крупные научные институты: ОИЯИ (Дубна), Пулковская астрономическая обсерватория и ФИАН СССР.

Итак, 12 апреля 1961 г. впервые в истории человек на космическом корабле облетел планету Земля, а 27–30 июня 1961 г. в Москве в МГУ им. М. В. Ломоносова состоялась 1-я Советская гравитационная конференция. Одно выездное заседание прошло в ОИЯИ под председательством Б. М. Понтекорво.

Для меня это была первая конференция, в которой я участвовала (в качестве слушателя). В. А. Фок отказался войти в оргкомитет, но в Дубну он приехал и, как обычно, сел в первом ряду. Когда же к доске вышел Д. Д. Иваненко и начал говорить о связи между теорией Эйнштейна и теорией элементарных частиц, он с возмущением выключил свой слуховой аппарат, шумно встал и демонстративно вышел из зала. По залу прокатился удивленный рокот. Но Д. Д. Иваненко, как ни в чем не бывало, продолжал говорить, и зал успокоился. Я уже не помню, что именно он говорил, но это было что-то очень нетривиальное и заведомо интересное. По крайней мере, у меня осталось такое впечатление. Возможно, он упоминал и о теории Утиямы, работа которого обсуждалась на гравитационной конференции в Париже. Во всяком случае, именно в 1961 г. появилась статья А. М. Бродского, Д. Д. Иваненко и Г. А. Соколика, в которой авторы пытались ввести гравитационное поле, ис-

пользуя компенсационную процедуру в уравнениях 2-го порядка (типа уравнений Прока). Эта процедура была ранее предложена Вейлем для введения электромагнитного поля в уравнения Дирака для свободного электрона. Идея трех авторов успеха не имела, но статья постоянно всеми цитируется как пионерская.

Позже я неоднократно сталкивалась с упомянутым выше поведением В. А. Фока. Он всегда выключал свой слуховой аппарат, если к доске выходил Д. Д. Иваненко, но выходил из зала не всегда. Почему-то если я выходила к доске, В. А. Фок никогда не выключал свой аппарат и внимательно слушал, хотя я не соглашалась с его высказываниями. К сожалению, он никогда не пытался что-либо со мной обсуждать, и поэтому я не знаю, что он думал об услышанном. С В. А. Фоком мы пересекались не только на гравитационных, но и на философских конференциях, например, в 1965 г. в Киеве на конференции по философским проблемам теории относительности и космологии.

Подобно 1-й Всесоюзной ядерной конференции 1933 г., давшей мощный импульс развитию ядерной физики в СССР, 1-я Советская гравитационная конференция стимулировала активные исследования в области гравитации. По аналогии с Международным гравитационным комитетом в мае 1962 г. была создана Всесоюзная гравитационная комиссия для координации научно-исследовательских работ вузов по проблеме «Гравитация» при Научно-техническом совете Минвуза СССР. Ее председателем был утвержден А. З. Петров, зам. председателя — Д. Д. Иваненко. Комиссия состояла из 23 членов, включая В. А. Фока. Первоначально предполагалось, что председателем комиссии будет Д. Д. Иваненко, поскольку именно он инициировал ее создание, а зам. председателя будет А. З. Петров. Но против такого варианта категорически выступил В. А. Фок и заявил, что в этом случае он не войдет в комиссию. Д. Д. Иваненко испугался, что вслед за В. А. Фоком откажутся участвовать и другие академики, и предложил поменять местами себя и А. З. Петрова. Об этом он всю жизнь потом жалел.

Советская гравитационная комиссия просуществовала до 1989 г. После смерти А. З. Петрова ее возглавил А. А. Соколов, а в 1985 г. председателем комиссии стал ректор МГУ им. М. В. Ломоносова академик А. А. Логунов. В течение всего времени существования комиссии Д. Д. Иваненко был зам. председателя, но после 1972 г. его влияние на ее деятельность постепенно падало. Отношения А. З. Петрова и Д. Д. Иваненко долгое время были довольно хорошими. Трудности возникли в 1971 г., когда А. З. Петров, возглавлявший делегацию советских гравитационистов на 6-й Международной конференции в Копенгагене, «не совсем правильно» отреагировал на антисоветские выступления некоторых иностранных делегатов конференции. После этого, естественно, последовали «разборки» и «оргвыводы». Тем не менее с В. Р. Кайгородовым, сменившим А. З. Петрова после его отъезда в Киев на по-

сту зав. кафедрой в Казанском университете, у Д. Д. Иваненко были хорошие научные и организационные контакты.

Под эгидой Советской гравитационной комиссии было проведено семь всесоюзных гравитационных конференций, множество симпозиумов и школ. В годы перестройки возникла в качестве общественной организации с членскими взносами Гравитационная ассоциация, объединившая в своих рядах более молодое поколение гравитационистов. В настоящее время она превратилась в Российское гравитационное общество во главе со своим президентом В. И. Мельниковым, учеником К. П. Станюковича. На физфаке мы с В. Н. Мельниковым учились в одной группе.

**2.2. Теория калибровочных полей.** В 60-е–70-е гг. XX в. была создана единая теория фундаментальных взаимодействий элементарных частиц, включающая гравитацию. Это была теория калибровочных полей [23, 29, 32–34]. Здесь тоже постоянно шли дискуссии о роли глобальных и локальных симметрий в физической теории.

Как позднее вспоминал Утияма [33], известные физики, лауреаты Нобелевской премии высказывались по его адресу следующим образом: «Почему Утияма без конца занимается не имеющими никакого отношения к действительности полями?» По мнению Утиямы, как теория Янга–Миллса (1954 г.), так и его теория (1956 г.) «... появились на свет несколько преждевременно, когда свойства элементарных частиц были еще недостаточно изучены экспериментально. Поэтому в течение 10 лет его теория рассматривалась как сугобо академическое бесполезное мечтание». Но ведь таким же было отношение со стороны квантовых физиков к работам Эйнштейна, посвященным единой теории поля!

Дело было не в достоинствах или недостатках новой теории, а в моде на квантовый подход [35]. Как отмечал сам Утияма, «... все физики мира, особенно юные гении и талантливая молодежь, ставившие своей целью создание и развитие новой науки, сосредоточили внимание на проблемах квантовой физики. Число интересующихся едиными теориями поля все падало, и в конце концов остались всего две-три научные школы, занимавшиеся проблемами общей теории относительности и единой теорией поля. Ею занимались перевалившие на вторую половину жизни старики, а интересующихся этой темой молодых людей “физическое” общественное мнение третировало как оригиналов со странностями, людей не от мира сего». К тяжело болеющему Г. А. Соколику и ко мне, работавшим у опального К. П. Станюковича, отношение некоторых влиятельных физиков было сходным. А. С. Компанец каждый день заходил по-соседски к маме Г. А. Соколика и объяснял ей, что Гаррик занимается не тем, чем нужно. В те годы Соколики жили в том же «химфизическом» доме, что и А. С. Компанец, Я. Б. Зельдович и другие ученые из окружения Ландау. Рассказывая мне об очередном визите А. С. Компанейца, Г. А. Соколик вздыхал и говорил: «Только истинный поэт

может поливать асфальт в надежде, что на нем вырастут фиалки». И мы с ним снова начинали обсуждать, как должна быть устроена физическая теория, для того чтобы она могла правильно передавать информацию о внешнем мире.

В теоретическом отделении ФИАН СССР, куда я сначала (в 1977 г.) принесла свою докторскую диссертацию, мне сказали: «Классической теории поля не существует!» В это время теоретическим отделением ФИАН руководил В. Л. Гинзбург, сменивший на этом посту умершего в 1971 г. И. Е. Тамма. Как и Д. Д. Иваненко, И. Е. Тамм дружил и переписывался с Дираком, пытался решить проблему расходимостей в квантовой теории поля с помощью геометрических методов, изучая структуру обычного и импульсного пространств. Но и к нему в конце жизни его ученики относились как к «оригиналу со странностями».

И все-таки похоронить теорию калибровочных полей никак не удавалось. Ее жизнестойкость объяснялась «симметричным бумом» в теоретической физике тех лет и настойчивым интересом к фундаментальным физическим принципам, которые могли бы помочь создать настоящую теорию сильных и слабых взаимодействий элементарных частиц. Было件件но, что без гравитации трудно будет решить вопрос о массе новых полей, но считалось, что временно эти массы можно «вводить руками», т. е. по рецептам без теоретического обоснования. Число новых элементарных частиц стремительно росло и вместе с ним росла потребность в их классификации на новой основе. Можно считать, что в СССР систематическое изучение теории калибровочных полей было стимулировано выходом в свет в 1964 г. сборника статей под редакцией Д. Д. Иваненко «Элементарные частицы и компенсирующие поля» [32] и затем в 1972 г. выходом нашей с В. Н. Поповым книги «Калибровочные поля» [29]. Экспериментальные исследования с использованием новых представлений об элементарных частицах велись в ФИАН СССР и ОИЯИ в Дубне под руководством М. А. Маркова и А. М. Балдина.

Снобизм «квантовых физиков» на самом деле не имеет глубоких оснований для своего существования. Почти вся наша жизнь определяется процессами, которые описываются теориями Ньютона и Максвелла. Квантовые эффекты используются в одиночных экзотических случаях. Самое «практичное» использование квантовой теории — создание атомной бомбы. Отличие квантовой физики от классической возникает лишь благодаря явному учету в рамках самой теории свойств процедур измерения, с помощью которых эта теория проверяется. Но такой учет может быть проведен и в классической теории. Мысленные эксперименты с падающим лифтом Эйнштейна связаны именно с таким анализом измерительных процедур. Этот анализ побудил Эли Картана переформулировать риманову геометрию в терминах геометрии ортогональных реперов (локальных систем отсчета), а Утияму привел, по его признанию, к общей теории калибровочных полей. То, что препятствовало сопоставлению теории калибровочных полей в формулировке Янга–Миллса–

Утятимы с экспериментом — это невозможность ввести массу калибровочного поля. Но после того как в 1964 г. такой механизм был предложен Хиггсом, в 1967 г. на его основе была построена единая модель слабых и электромагнитных взаимодействий Вайнберга–Салама, успешно подтвержденная экспериментом. За нее в 1979 г. Ш. Глэшоу, А. Салам и С. Вайнберг получили Нобелевскую премию. В Дубне в 1967 г. группой экспериментаторов под руководством А. М. Балдина было обнаружено превращение нейтрального векторного  $\phi$ -мезона в электрон-позитронную пару через промежуточное состояние, содержащее фотоны. Таким образом, была показана возможность прямого превращения фотона в векторный мезон. Результат этой работы был зафиксирован в 1971 г. как открытие ядерных свойств света.

Элементарные частицы — квантовые объекты, а квантовая теория не умеет работать с локальными симметриями. Элементарные частицы классифицируются по представлениям конечно-параметрических групп Ли  $G_r$ , т. е. глобальных групп симметрии. В рамках классической теории калибровочных полей электромагнитным взаимодействиям отвечает абелева однопараметрическая калибровочная группа. Слабым взаимодействиям соответствует калибровочная группа  $SU(2)$ . Сильные взаимодействия (ядерные силы) описываются калибровочной группой  $SU(3)$ . Эти группы рассматриваются как внутренние симметрии взаимодействий элементарных частиц. Современная единая теория электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий элементарных частиц строится на основе группы внутренних симметрий  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$ . Она называется Стандартной моделью взаимодействий [36].

Начиная с открытия нейтральных токов в 1973 г., предсказанных моделью Вайнберга–Салама, множество удивительных экспериментальных открытий было сделано с помощью калибровочных моделей и около десятка Нобелевских премий получено как экспериментаторами, так и теоретиками, внесшими свой вклад в разработку Стандартной модели. Поучительный вывод: «Сначала создай правильную классическую теорию, а потом квантуй!».

Нужно отметить, что впервые на основе теории калибровочных полей была создана релятивистская теория ядерных сил — квантовая хромодинамика (1973–1974 гг.). Ей предшествовала теория ядерных сил Дж. Сакураи (1960 г., [32]), который ввел пять векторных калибровочных полей для объяснения этих сил. Эти поля должны были универсальным образом взаимодействовать со всеми частицами, несущими определенный тип заряда (барионный заряд, гиперзаряд и/или изоспин), подобно тому, как электромагнитное поле универсальным образом взаимодействует со всеми электрически заряженными частицами. Переносчиками ядерных сил по теории Сакураи должны были быть векторные мезоны. Два типа таких мезонов были названы  $\omega^0$ - и  $\rho$ -мезонами. Они были экспериментально открыты. Их свойства аналогичны свойствам фотона. Векторным мезонам, переносящим гипер- и барионный заряды, Сакураи сопоставил две независимые локальные калибровочные группы

$U(1)$  (как в теории Ли–Янга 1955 г., рассматривавшей барионный заряд как аналог электромагнитного), а мезонам, переносящим изоспин, — неабелеву калибровочную группу  $SU(2)$  (как в теории Янга–Миллса). Сакураи считал, что других сильных взаимодействий кроме связанных с тремя перечисленными выше типами зарядов в природе не существует.

Но в 1961 г. М. Гелл-Манн и Л. Глэшоу [32] предложили использовать вместо нескольких независимых калибровочных групп, предложенных Сакураи, одну локальную калибровочную группу  $SU(3)$ , включавшую их как свои подгруппы. Так возникла группа симметрии, ставшая основой квантовой хромодинамики — современной теории ядерных сил. Наинизшее представление этой группы образуют кварки — удивительные частицы с дробными электрическими зарядами. Благодаря им протон-нейтронная модель ядра, предложенная Д. Д. Иваненко, была заменена на кварк-глюонную. Протон и нейтрон (как и мезоны) с новой точки зрения оказались составными частицами, построенными из кварков и глюонов, переносящих взаимодействие между кварками.

Как Сакураи, так и почти все авторы статей, вошедших в упомянутый выше сборник 1964 г. «Элементарные частицы и компенсирующие поля», в том числе и редактор сборника Д. Д. Иваненко, ссылаются в качестве основания для своей работы на статью В. Паули 1941 г. «Релятивистская теория элементарных частиц». В этой статье используется предложенный Вейлем в 1929 г. математический прием, позволяющий вводить электромагнитное поле как компенсирующее для обеспечения локальной градиентной инвариантности дираковского лагранжиана для свободного электрона. Непонятно, почему никто не процитировал самого Вейля (кроме Т. В. Б. Киббла, статья которого замыкает сборник). В действительности, не «механизм компенсации» является главной идеей у Паули, а глубокая связь между законами сохранения внутренних свойств элементарных частиц и динамикой их взаимодействий.

Включение гравитационных взаимодействий в эту схему представляет для Стандартной модели принципиальную трудность. Внутренние симметрии рассматриваются как симметрии неких абстрактных «внутренних» пространств, не имеющих отношения к реальному пространству-времени, в котором происходят гравитационные взаимодействия. В Стандартной модели предполагается, что пространство-время остается плоским пространством Минковского. Замена Стандартной модели на суперсимметричные калибровочные модели элементарных частиц за 40 лет их существования не дала никаких разумных физических результатов. Нужно иметь в виду, что суперсимметричные калибровочные теории не являются обобщением обсуждавшейся выше теории калибровочных полей. Они представляют собой самостоятельное направление, основанное на совершенно иной аксиоматике, чем теория калибровочных полей. Стандартная модель, напротив, возникает в рамках теории калибровочных полей, когда *все* локальные симметрии становятся глобальными.

**2.3. Геометрия расслоенных пространств.** В подходе, предложенном мной в 1967 г., не возникает никаких трудностей при переходе от глобальных симметрий к локальным и позволяет естественным образом объединять внутренние и пространственно-временные симметрии. Я предложила называть калибровочными полями объекты, имеющие в своих преобразованиях производные от параметрических функций, задающих преобразования бесконечных групп Ли  $G_{\infty r}$ . Если в преобразованиях объектов относительно  $G_{\infty r}$  не содержатся производные, то такие объекты не чувствуют локализации симметрии. Они преобразуются одинаково относительно локальных и глобальных симметрий. Их я предложила называть частицами. Как поля, так и частицы могут преобразовываться по различным представлениям групп симметрии Ли. Когда симметрия становится глобальной, разница между полями и частицами исчезает, поскольку числовые параметры преобразований глобальной симметрии, естественно, не порождают производных.

Такой подход означает, что калибровочными полями могут быть поля любого спина (если говорить на языке глобальных симметрий). То, что физики впервые столкнулись с векторными полями в качестве калибровочных, это историческая случайность, связанная с электродинамикой. Именно электромагнитные силы в 1918 г. безуспешно пытался объединить с гравитацией Г. Вейль [38]. От своей теории после критических выступлений Эйнштейна Вейль отказался, но введенная им идея локальных калибровочных симметрий осталась и стала жить собственной жизнью.

В 1954 г., когда Эйнштейн еще был жив, Янг и Миллс решили использовать подход Вейля (который тоже был жив и работал в Принстоне, как и Эйнштейн), чтобы получить уравнения, описывающие слабые взаимодействия элементарных частиц. Для обобщения они использовали статью Вейля 1929 г., в которой он предлагал вводить взаимодействие электрона с электромагнитным полем через локализацию  $U(1)$ -симметрии лагранжиана Дирака для *свободного* электрона. Электромагнитное поле появлялось в результате локализации исходной глобальной симметрии! Уравнения этого поля совпадали с уравнениями Максвелла. Статья Янга и Миллса вызвала резкую критику Паули и прошла почти незамеченной теоретиками в СССР.

Но в 1956 г. Утияма обобщил этот подход на любые симметрии  $SU(N)$  и попытался связать гравитацию с локальной группой Лоренца [32]. Действуя по общему рецепту, он получил бы для гравитации уравнения Вейля (или Эддингтона), а не Эйнштейна. Поэтому Утияма, чтобы получить уравнения Эйнштейна, применил некую подгонку, не связанную с избранным вначале универсальным подходом. Теория Эйнштейна не получилась и на этот раз. Главная ценность статьи Утиямы состоит в том, что его подход позволял реализовать идею Пайса об иерархии взаимодействий. В этой классификации усиление взаимодействий соответствует увеличению числа параметров локальной калибровочной группы. Если бы группа общековариантных пре-



образований координат была заменена по предложению В. А. Фока калибровочной группой с очень большим числом параметров, то гравитация оказалась бы самым сильным из возможных взаимодействий, тогда как в действительности она является самым слабым из них.

Выход, который предложила я в 1963 г., заключался в том, чтобы не пытаться объединять в одном пространстве внутренние и пространственно-временные симметрии. По своему происхождению те и другие имеют разный физический смысл. Имея перед глазами эйнштейновскую картинку со свободно падающими во внешнем гравитационном поле наблюдателями, у которых в кармане часы и линейки, я подумала: а что будет, если у каждого наблюдателя свой вольтметр, амперметр, ускоритель и прочие приборы, необходимые для разнообразных измерений? Иными словами, что остается в теории от разных измерительных инструментов? И я поняла, что это шкала, т. е. некое пространство, точками которого являются потенциально возможные значения измеряемых величин. Иными словами, с каждой точкой пространства-времени нужно связать некое пространство («внутреннее» по отношению к точке). Полученную конструкцию мы с Г. А. Соколик в наших первых совместных работах называли «пространство пространств». Но мне не нравилось это название. Математически эта конструкция очевидным образом обобщала реперный формализм Эли Картана, примененный им для описания римановой геометрии в соответствии с эйнштейновской картинкой. Я решила пойти к математикам и спросить, нет ли у них чего-нибудь похожего? Так я нашла сначала в библиотеке «Труды Московского математического общества» со статьей Г. Ф. Лаптева, а потом и его самого на кафедре П. К. Рашевского.

Придуманная нами конструкция называлась у математиков «расслоенным пространством». Позже, перечитывая «Эрлангенскую программу» Ф. Клейна, я обнаружила, что кроме построения геометрии с помощью глобальных симметрий, о чем любил рассказывать Г. А. Соколик и которое явно было известно В. А. Фоку, в ней содержится также идея расслоенных пространств. Ф. Клейн писал о возможности построения пространств, точками которых являются другие пространства или даже произвольные объекты. Группа учеников Г. Ф. Лаптева занималась разработкой геометрии именно таких пространств. Я стала членом лаптевского семинара и постоянным участником конференций по дифференциальной геометрии расслоенных многообразий, которые устраивал Г. Ф. Лаптев. К сожалению, эти конференции, как правило, не имели трудов. В лучшем случае, выпускались тезисы или только программа. С публикациями у математиков было еще сложнее, чем у физиков. Большинство учеников Г. Ф. Лаптева были из прибалтийских республик. В Одессе работал Рахула. Сейчас сохранилась только группа Малаховского из Калининградского университета. Работы зарубежных геометров были известны и обсуждались как на лаптевских семинарах, так и на его конференциях, хотя иностранных участников на них не было.

Нужно заметить, что любые научные конференции в СССР должны были показывать, кому и зачем полезны те результаты, о которых на них рассказывали. Поэтому в программу включались секции приложений. Например, на конференциях по теоретической физике должны были быть секции, посвященные эксперименту. У математиков в секции приложений могли быть представлены любые варианты использования математических результатов. На лаптевских конференциях секцией приложений всегда руководил А. З. Петров. Он и приглашал меня в качестве участника этой секции. Я не стремилась сама заниматься геометрией расслоенных пространств. Это потребовало бы еще одной жизни, если делать это серьезно. Но постоянное общение с математиками, делавшими это профессионально, помогало мне сразу использовать их результаты и грамотно строить геометрическую теорию калибровочных полей. А они могли видеть, как меняется физическая теория под влиянием их работ. Мы взаимно вдохновляли друг друга. А. З. Петров сам не занимался расслоенными пространствами, но с большим интересом следил за этим новым направлением в геометрии.

**2.4. ОТО как теория калибровочного поля.** В рамках вариационного формализма для бесконечных групп Ли, который я применила для получения уравнений теории тяготения Эйнштейна, необходимо и достаточно в качестве локальной симметрии выбрать группу общековариантных преобразований координат  $V_4$ , а в качестве полевой переменной — симметричный тензор второго ранга (например, метрический тензор). Тогда интеграл действия теории в низшем порядке по производным совпадает с интегралом действия Гильберта–Эйнштейна. К нему можно добавить интеграл по объему, не содержащий производных метрического тензора. Варьируя этот интеграл действия по полевой переменной, мы получим в качестве уравнений поля уравнения Эйнштейна (с космологической постоянной или без нее в зависимости от наличия интеграла по объему). Этот результат на уровне теоремы говорит о том, что теория Эйнштейна является единственно возможной, вытекающей только из двух постулатов: 1) полевая переменная — симметричный тензор второго ранга и 2) симметрия теории — общековариантные преобразования координат.

Заметим, что этот результат не зависит от того, будем ли мы интерпретировать симметричный тензор второго ранга как метрику пространства-времени  $V_4$  или как поле в плоском пространстве [8, 31]. Кроме того, он означает, что уравнения Эйнштейна имеют более широкий физический смысл, чем принято думать. Они могут описывать не только гравитацию, но и другие физические явления, если полевой переменной соответствующей теории окажется симметричный тензор второго ранга. И, наконец, становится ясно, насколько неправ был В. А. Фок, предлагая отказаться от общего принципа относительности. Именно этот принцип однозначно определяет форму уравнений релятивистской теории тяготения Эйнштейна.

Для интегрирования тензорного закона сохранения энергии-импульса, возникающего в ОТО, пришлось искать новую процедуру, использующую теорему Гаусса лишь частично [5, 6]. Для определения этой процедуры оказались важны свойства симметрии риманова пространства-времени как целого. Произвольное риманово пространство такими свойствами не обладает, так как задается лишь локально. Вообще говоря, движение в таком пространстве-времени невозможно. Классификация пространств Эйнштейна по группам движений, полученная А. З. Петровым, позволяет математически строго перенести на пространства ОТО определения тех динамических констант, которые могут быть измерены экспериментально. Мне кажется, что современный кризис в космологии связан в том числе и с недостаточно строгой математикой, используемой при строительстве моделей. Выдающиеся исследования А. З. Петрова могут помочь внести ясность в некоторые проблемы современной космологии и астрофизики.

Заметим, что если в рамках ОТО мы хотим получить пространство-время с 10-параметрической группой движений (чтобы сохранить число динамических констант, имеющихся в пространстве Минковского), то для вакуумных решений уравнений Эйнштейна  $R_{\mu\nu} = 0$  единственным пространством-временем, удовлетворяющим этому требованию, окажется пространство Минковского. При наличии космологической константы в правой части уравнений Эйнштейна решениями будут пространства постоянной ненулевой кривизны [2–4]. Но те динамические константы, которые в них можно будет построить, по своему физическому смыслу будут отличаться от набора интегралов движения плоского пространства-времени.

Применение упомянутого выше вариационного формализма к локальным калибровочным группам симметрии и векторным потенциалам приводит к воспроизведению полученных Янгом, Миллсом и Утиямой уравнений. Поэтому предложенный мной подход естественным образом объединяет все виды взаимодействий, *включая эйнштейновскую гравитацию*.

Появление структур типа ковариантной дивергенции тензора энергии-импульса гравитационного поля связано с локализацией группы симметрии и характерно для изменения формы всех законов сохранения в теории калибровочных полей. В отличие от законов сохранения, порождаемых глобальными симметриями, ковариантный закон сохранения в ОТО, как и законы сохранения в теории калибровочных полей, является записью тождеств Нетер, вытекающих из ее второй теоремы, а не первой. В данном случае ковариантная форма закона сохранения является математически необходимой и неизбежной в отличие от псевдотензора  $t_{\mu\nu}$ , представляющего собой сущность, введенную без необходимости. Вместо того чтобы превращать ковариантные производные в обычные посредством посторонних для теории объектов, в неоднородном пространстве нужно использовать адекватные ему процедуры интегрирования.

В неабелевых калибровочных теориях для нахождения интегральных сохраняющихся величин, как и в ОТО, необходимо переопределять процедуры интегрирования с учетом свойств симметрии пространства-времени как целого. С геометрической точки зрения в случае неабелевой калибровочной группы пространство-время становится расслоенным пространством [27, 28]. Базой этого пространства является риманово пространство-время  $V_4$ , а слоем — однородное пространство, в котором действует калибровочная группа внутренней симметрии. Таким образом, локальные однородные пространства внутренней симметрии, будучи идентичными по своим свойствам, могут в соседних точках оказаться повернутыми относительно друг друга (точнее, преобразованными группой внутренней симметрии). Именно этой «свободе действий» в каждой точке соответствует локализация внутренней симметрии.

Сочетание двух типов преобразований координат (внутреннего пространства и базы) приводит к возникновению системы уравнений, включающей в себя как уравнения типа Янга–Миллса (или Утиямы), так и уравнения Эйнштейна с тензором энергии-импульса соответствующих негравитационных калибровочных полей в правой части. Именно таким способом впервые объединил гравитацию и электромагнетизм Уилер. Его единая теория изложена в книге «Гравитация, нейтрино, Вселенная», в переводе которой на русский язык мне довелось участвовать в студенческие годы (см. п. 1.1). Это изумительно красивая теория, подарившая физикам кроме всего прочего «черные дыры» и «кратовые норы». Теперь можно заниматься ее обобщениями на случай объединения любого числа взаимодействий, включая эйнштейновскую гравитацию. Никакие другие способы объединения взаимодействий не позволяют объединить ОТО с негравитационными калибровочными полями. Теории с кручением не описывают эйнштейновскую гравитацию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«К чему пришла физика». Это заголовок научно-популярной книги Р. Утиямы, вышедшей в Японии в 1983 г. и переведенной на русский язык в 1986 г. В ней рассказывается об обстановке, в которой создавалась теория калибровочных полей и об обстоятельствах личной жизни автора в этот период (50-е–70-е гг. XX в.). Книга имеет подзаголовок: «От теории относительности к теории калибровочных полей». Это абсолютно точное указание пути, по которому развивалась научная мысль в обсуждаемый период времени. Можно считать, что данный период был не менее блистательным для развития теоретической физики, чем начало XX в., когда создавались специальная теория относительности и квантовая механика. Оба эти раздела физики к 50-м гг. XX в. получили всеобщее признание и доказали на практике

свою справедливость. Но тем более ревниво относились квантовые физики к тем, кто продолжал развивать классическую физику, включая самого Эйнштейна. «Остановись, мгновение, ты прекрасно!» — хотели бы воскликнуть многие из квантовиков. Но Эйнштейн им бы снова ответил: «Бог не играет в кости».

Почему же Эйнштейн до конца своих дней пытался построить единую картину мира на основе классической теории поля и почему у него это не получалось? Теперь, когда создана единая теория всех фундаментальных взаимодействий, включая общую теорию относительности Эйнштейна, на эти вопросы легко ответить. Для того чтобы сбылась мечта Эйнштейна, должны были возникнуть, развиться и быть примененными новые разделы математики: геометрия расслоенных пространств и методы континуального интегрирования. Кроме того, в теоретическую физику должна была войти теория представлений бесконечных групп Ли  $G_{\infty r}$  наряду с теорией представлений конечно-параметрических ( $\equiv$  конечных) групп Ли  $G_r$ , на которой построен математический аппарат квантовой механики. Казалось, еще немного новой математики и будет построена окончательная физическая теория (суперсимметричная). Но, увы! Одной математики тут недостаточно. При описании физических объектов математика является не целью, а средством передачи информации о чем-то реально существующем. Поэтому нужно выбирать адекватную математику [39].

Благодаря теории калибровочных полей процессы космических масштабов оказываются связанными с поведением частиц в микромире. Появились различные сценарии рождения Вселенной [34], расчеты в которых делаются в рамках Стандартной модели взаимодействий элементарных частиц. Без знания результатов работ А. З. Петрова и его группы невозможно правильно строить механику и физику элементарных частиц с учетом гравитационного взаимодействия, тем более в масштабах Вселенной. Работы А. З. Петрова высоко ценил С. Вайнберг. Он даже включил некоторые результаты А. З. Петрова в свою книгу «Гравитация и космология» [23].

На глазах нашего поколения физика сделала новый огромный шаг вперед в познании мира. Но Природа, которая «в сущности проста», все-таки проста не до такой степени, чтобы оказаться примитивной и позволить закончиться физике. Продвигаясь вперед в ее познании, мы обнаруживаем все новые стороны физических явлений. Природа бесконечно разнообразна и всегда будет служить источником новых удивительных открытий. По мнению Р. Утиямы, «... теория кварков и калибровочная теория — это два великих шедевра в физике второй половины XX в.». Оба они родились благодаря теории относительности и теории гравитации Эйнштейна. Фиалки на асфальте все-таки выросли!

Автор благодарит организаторов международных семинаров «Балдинская осень» за их постоянный интерес и поддержку данных исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр. Т. 2. М.: Наука, 1966.
2. *Петров А. З.* Пространства Эйнштейна. М.: Физматлит, 1961. С. 243.
3. *Петров А. З.* Новые методы в общей теории относительности. М.: Наука, 1966.
4. *Крамер Д. и др.* Точные решения уравнений Эйнштейна / Пер. с англ. под ред. Э. Шмутцера. М.: Энергоиздат, 1982. 416 с.
5. *Синг Дж. Л.* Общая теория относительности / Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
6. *Коноплева Н. П.* Об интегральных законах сохранения в общей теории относительности // Докл. АН СССР. 1970. №6. Р. 1070–1073.
7. *Коноплева Н. П.* Калибровочные поля и гравитация // Тр. Междунар. конф. «Petrov 2010 Anniversary Symposium on General Relativity and Gravitation», 1–6 ноября 2010, Казань. КГУ. С. 173–181.
8. *Коноплева Н. П.* Гравитационные эксперименты в космосе // УФН. 1977. Т. 123, вып. 4. С. 537.
9. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теория поля. М.: Физматгиз, 1960. С. 400.
10. *Фок В. А.* Теория пространства, времени и тяготения. М.: ГИТТЛ, 1955. С. 504.
11. *Nöther E.* Invariante variation probleme // Nach. von der Kön. Ges. der Wissenschaften zu Göttingen. Math.-Phys. Kl. 1918. Heft 2. S. 235–258.
12. *Кокин Л. М.* Юность академиков. М.: Сов. Россия, 1970. 192 с.
13. *Снегов С. А.* Творцы, М.: Сов. Россия, 1979. 368 с.
14. *Сарданашвили Г. А.* Дмитрий Иваненко — суперзвезда советской физики. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 320 с.
15. *Лоренц Г. А. и др.* Принцип относительности // Сб. работ классиков релятивизма / Под ред. В. К. Фредерикса и Д. Д. Иваненко. Л.: ОНТИ, 1935. С. 388.
16. *Дирак П. А. М.* Принципы квантовой механики. М.: Физматгиз, 1960. 435 с.
17. *Румер Ю. Б.* Исследования по 5-оптике. М.: Гостехиздат, 1956.
18. *Фок В. А.* Против невежественной критики современных физических теорий // Вопр. филос. 1953. № 1. С. 168–174.
19. *Фок В. А.* Понятия однородности, ковариантности и относительности в теории пространства и времени // Там же. 1955. №4. С. 131–135.
20. *Фок В. А.* О роли принципов относительности и эквивалентности в теории тяготения Эйнштейна // Там же. 1961. № 12. С. 45–52.
21. *Паули В.* Теория относительности. М.–Л.: Гостехиздат, 1947.
22. *Меллер К.* Теория относительности. М.: Атомиздат, 1975. 400 с.
23. *Вайнберг С.* Гравитация и космология. М.: Мир, 1975.
24. *Станюкович К. П.* Гравитационное поле и элементарные частицы. М.: Наука, 1965.

25. Станюкович К. П. Неустановившиеся движения сплошной среды. М.: Наука, 1971. С. 856.
26. Ландау Л. Д., Станюкович К. П. Об изучении детонации конденсированных ВВ // Докл. АН СССР. 1945. Т. 46, № 9.
27. Коноплева Н. П. Геометрическое описание взаимодействий. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М.: ФИАН, 1969.
28. Коноплева Н. П. Геометрическое описание калибровочных полей // Тр. междунар. сем. «Векторные мезоны и электромагн. взаимодействия» / Под ред. А. М. Балдина. Дубна, 1969.
29. Коноплева Н. П., Попов В. Н. Калибровочные поля. М.: Атомиздат, 1972.
30. Kопрлева N. P., Popov V. N. Gauge fields. Chur–London–New York: Harwood Academic Publishers, 1981.
31. Коноплева Н. П. Вариационный формализм для бесконечных групп и теория поля // Гравитация и теория относительности. КГУ, 1968. Вып. 4–5. С. 67.
32. Элементарные частицы и компенсирующие поля / Под ред. Д. Д. Иваненко. М.: Мир, 1964.
33. Утияма Р. К чему пришла физика. М.: Знание, 1986.
34. Вайнберг С. Первые три минуты. М.: Энергоиздат, 1981.
35. Вейль Г. Теория групп и квантовая механика. М.: Наука, 1986.
36. Квантовая теория калибровочных полей / Под ред. Н. П. Коноплевой. М.: Мир, 1977. С. 436.
37. Паули В. // Сб. тр. по квантовой теории / Под ред. Я. А. Смородинского. М.: Наука, 1977. С. 372.
38. Weyl H. Gravitation und Elektrizität. Berlin: Sitzber. Preuss. Akad. Wiss., 1918.
39. Коноплева Н. П., Соколик Г. А. Симметрии и типы физических теорий // Вопр. филос. 1972. № 1. С. 118–127.

Получено 16 мая 2012 г.

Редактор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 13.08.2012.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 2,51. Тираж 325 экз. Заказ № 57731.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)