

А. Пайс

# ГЕНИИ НАУКИ

Перевод с английского Е. И. Фукаловой  
Под редакцией к.ф.-м.н. С. Г. Новокшенова



Москва

2002

УДК 509.2

---

Интернет-магазин

**MATHESIS**

<http://shop.rcd.ru>

- физика
  - математика
  - биология
  - техника
- 

### **Пайс А.**

Гении науки. — Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 448 стр.

В этой книге Абрахам Пайс, сам являясь выдающимся физиком-теоретиком, рассказывает о других великих ученых, с которыми он был знаком.

На страницах этой книги мы встретим молчаливого Поля Дирака; Макса Борна, который придумал термин «квантовая механика»; Вольфганга Паули, известного своим принципом запрета; Митчелла Фейгенбаума, создателя теории хаоса, и Джона фон Неймана, одного из самых влиятельных математиков прошлого столетия. Не забыл Пайс также Альберта Эйнштейна и Нильса Бора, полные биографии которых он уже писал в отдельных книгах.

Книга полна исторических фактов, точных характеристик описываемых личностей и их научных достижений, а потому будет интересна широкому кругу читателей.

**ISBN 5-93972-168-0**

© Перевод на русский язык,  
Институт компьютерных исследований, 2002

<http://rcd.ru>

---

# Вольфганг Эрнст Паули

## Первые встречи

Влияние Паули на мою научную карьеру было больше, чем я считал сначала. Немного позднее я объясню, почему я так думаю. Впервые я получил от него письмо в октябре 1945 года, что было *своевременно*.

В июне 1945 года, сразу после окончания второй мировой войны, я отправился к Леону Розенфельду, который был моим консультантом по теме докторской диссертации. Я хотел обсудить с ним возможности проведения будущих постдокторских исследований. Он предложил мне два варианта: либо поехать к Нильсу Бору в Копенгаген, либо к Вольфгангу Паули в Институт перспективных исследований в Принстон (далее я буду называть этот Институт просто Институтом). Поскольку было неясно, каковы будут возможности в этих двух местах, он предложил сначала отправить туда письма с моей заявкой.

В сентябре я получил теплое письмо от Бора с приглашением в его Институт теоретической физики. В октябре пришло письмо от Паули (о котором я только что упоминал). Я частично процитирую его: «Я видел Ваше заявление о приезде в нашу страну. . . Я за Ваш приезд. . . Я получил Вашу интересную рукопись, которую только просмотрел. . . Похоже, Вы с большим усердием отнеслись к своей работе<sup>1</sup>». (Речь идет о работе, которую я писал в годы войны по квантовой теории поля<sup>2</sup>.) В декабре я получил из Принстона приглашение на работу в Институте в течение года. Посоветовавшись с Розенфельдом, я решил немедленно ехать на год в Данию, а затем в Принстон.

---

Вышло так, что первая моя встреча с Паули произошла в Дании в начале 1946 года на званом обеде в доме Бора. В то время он уже давно был признан одной из основных фигур в физике двадцатого века. Причиной тому были не только его собственные открытия.

но и его критические суждения о работах других, которые могли быть очень резкими, но практически всегда попадали в самую точку. Он был известен как совесть физики двадцатого века, что отражено в его обширной корреспонденции — очень богатом источнике информации о развитии физики в первой половине века. Время от времени я буду приводить цитаты из его переписки. Почти все его письма написаны на немецком языке, на котором он писал просто мастерски.

Он был явно рад встрече со мной. Он любезно пригласил меня пообедать в один из самых прекрасных ресторанов в Дании — в рыбный ресторан Крога. В течение обеда я впервые наблюдал присущую ему манеру раскачиваться назад и вперед в мягком танцевальном ритме. Он размышлял о чем-то. Наконец он заговорил о том, что ему трудно сейчас найти физическую задачу для следующей работы, добавив: «Возможно, потому что я слишком много знаю». Молчание, раскачивание, затем: «А Вы много знаете?» Я засмеялся и сказал: «Нет, я многого не знаю». Опять молчание, Паули серьезно задумался над моим ответом. Затем: «Да, возможно, Вы многого не знаете, возможно, Вы многого не знаете». Моментом позже: «*Ich weiss mehr*» (Я знаю больше). Это было сказано в присущей Паули манере, без агрессивности, — просто констатация факта.

Когда в сентябре 1946 года я приехал в Принстон, то первой новостью, о которой я узнал, была новость об отъезде Паули. Он уехал в Цюрих, возобновив там свое профессорство, проведя в Принстоне военные годы с 1940 по 1946. Паули уехал, и это было печальной новостью, но даже его временное присутствие в Принстоне оказало глубокое влияние на мою карьеру — именно об этом я говорил в начальных строках этой главы, — поскольку я провел в Принстоне семнадцать лет. Я встречался с ним позднее, в Принстоне и других местах.

Прежде чем продолжать свое повествование, я дам краткое резюме того, что последует.

---

Паули был чудо-ребенком. В 21 год он опубликовал обзор теории относительности\*, высокую оценку которому дал Эйнштейн. И до сих пор эта работа является одной из лучших на эту тему. Он был признанным экспертом не только по теории относительности, но и по квантовой физике. Как мы увидим, он был близко знаком с Эйнштейном. С Нильсом Бором его отношения были еще более

\*В. Паули, *Теория относительности*, М.: Наука, 1983. — Прим. ред.

близкими. Его учебная статья (1933 год) по принципам волновой механики по-прежнему является классической.

Самыми известными открытиями Паули являются его принцип запрета, за который в 1945 году он был удостоен Нобелевской премии, и его гипотеза о нейтринно. Он первым признал, что электрон имеет четыре степени свободы, четвертая, как вскоре станет известно, это спин электрона. Менее известен тот факт, что в его докторской диссертации содержится первое *количественное* свидетельство того, что так называемая «старая» квантовая теория достигла своих пределов. Другими важными открытиями Паули являются его теория квантовых полей с нулевым спином, его работа по связи спина со статистикой и по *CPT*-теореме. Эти и другие работы будут более или менее подробно обсуждаться далее.

Я также раскрою некоторые аспекты личной жизни Паули, его происхождение, два его брака, его психоанализ, который привел его к знакомству с Карлом Юнгом. Их общение продолжалось с 1932 по 1958 годы. Кроме того, Паули был знаком и с главной ассистенткой Юнга и его последовательницей, сменившей его на посту руководителя Института Юнга в Цюрихе после его смерти — Марией-Луизой фон Франц. Я постараюсь показать, как эти знакомства привели к глубокой вовлеченности в психологические проблемы, особенно в связи с личностью Иоганна Кеплера. Эссе Паули об этом человеке является важнейшим примером его далеко простирающейся эрудиции.

Существует множество анекдотов про Паули. Я расскажу свои любимые. Его ответ молодому человеку, который попросил о встрече с Паули в 9 утра в такой-то день: «Невозможно, это слишком поздно». Его ответ другому молодому человеку, который пришел к нему со своими идеями, и Паули быстро объяснил ему, что они неправильны: «Так молод, а уже так неизвестен». Паули гордился тем эффектом, который он производил на экспериментальное оборудование, когда находился где-нибудь рядом, — с ним что-то неизбежно случалось, и оно переставало работать. Экспериментатор Отто Штерн, коллега Паули в Гамбурге, однажды рассказывал мне, что все физические вопросы они обсуждали с Паули через закрытую дверь, ведущую в лабораторию Штерна.

## Происхождение

Якоб Пашелес, дед Паули, и его жена, Хелена, урожденная Утиц, были владельцами книжного магазина в Праге. Дела шли успешно, и вскоре они купили дом на площади Оулд Таун в этом го-

роде. В качестве старшего конгрегации «Цыганской синагоги», он председательствовал на посвящении в мужчины Франца Кафки. 11 сентября 1869 года у них родился сын, которого назвали Вольфганг Джозеф. Мальчик оказался очень умным. Он завершил свое образование в 1893 году, получив степень доктора медицины в Пражском университете. Сначала он работал практикующим врачом в Вене, среди его пациентов было много известных в обществе людей. В июле 1898 года он получил разрешение поменять свое имя на Вольфганг Джозеф Паули. В марте 1899 года он стал католиком. В мае он женился на Берте Камилле Шютц, дочери писателя и редактора влиятельной венской газеты *Die neue freie Presse* (нем. — «Новая свободная пресса»), Берта и сама работала там корреспондентом. 25 апреля 1900 года в Вене родился их первенец. Это и был наш Паули. Прежде чем обратиться к нему, давайте завершим рассказ о его семье.

Скоро отец Паули сменил занятие чистой медициной на занятие химией. В этой области он стал заметной фигурой, прокладывая путь для будущих исследований. «Еще мальчиком он выказывал научный интерес в области физики и химии. В течение первых студенческих лет он проводил в институте известного физика Эрнста Маха каждую свободную минуту. Эрнст Мах стал его учителем и образцом для подражания. До конца своей (М.) жизни он оставался старшим другом и наставником Паули. Он же представил краткие научные сообщения о результатах исследований молодого Паули в *Kaiserliche Akademie der Wissenschaften* (нем. — Академия Наук кайзера в Вене<sup>3</sup>). Паули назвал свое общение с Махом «самым важным событием в моей интеллектуальной жизни<sup>4</sup>».

Среднее имя нашего Паули, Эрнст, взято от Маха, который был его крестным отцом. В Зале Паули в ЦЕРНе\* кроме красивого бюста Паули, изображающего его в конце жизни, находится подарок Маха, сделанный Паули в день его крещения, это серебряная чашка с дарственной надписью «31 мая 1900 года» и открытка, подписанная в старинном цветистом стиле: «Д-р Э. Мах, профессор университета Вены». Кроме того, там хранится письмо, написанное Паули 31 марта 1953 года, в котором можно найти такие строки: «[Мах] был личностью, оказавшей на меня более сильное влияние, чем католический священник. В результате я вместо католического крещения получил, кажется, «антиметафизическое»<sup>5</sup>». Кроме всего прочего, Мах руководил научным чтением молодого Паули<sup>6</sup>.

В 1898 году мы уже находим папу Паули среди младшего профессорско-преподавательского состава университета Ве-

\*Европейский Совет по ядерным исследованиям. — *Прим. перев.*

ны поднимающимся по служебной лестнице, пока в 1922 году он не стал профессором и директором *Institut für medizinische Kolloidchemie*, специально созданным для него на медицинском факультете университета Вены, где он продолжил свою фундаментальную работу по коллоидам. «Мы обязаны Паули первым проникновением в сущность точных связей между строением, структурой и стабильностью коллоидов, а также их химико-физического поведения<sup>3</sup>». Количество его научных публикаций исчисляется сотнями, включая и несколько написанных им книг. Это объясняет тот факт, что его сын публиковался в начале своей научной карьеры под именем В. Паули-мл.. Это продолжалось до 1928 года, когда он получил должность профессора в ФТИ (Федеральный технологический институт) в Цюрихе.

И еще немного о семье Паули. У него была младшая сестра Герта, автор известной биографии австрийской пацифистки Берты фон Суттнер. В 1940 году Герта уехала в США, где вышла замуж и стала гражданкой США. В 1927 году мать Паули покончила жизнь самоубийством. Отец снова женился в 1928 году, а в 1938 году уехал в Швейцарию. Он умер в 1955 году в Цюрихе. Письмо Паули Карлу Юнгу дает некоторое представление о его взаимоотношениях с отцом:

4 ноября 1955 года в престарелом возрасте умер мой отец, у него было слабое сердце. Это ведет к значительной перемене в подсознании. Я думаю, что для меня это значит изменение тени, поскольку для меня тень в течение долгого времени проецировалась на моего отца. Соответственно, «злая мачеха» (которую отец оставил одну, поскольку она гораздо моложе его) тоже часто ассоциировалась как связанная с тенью, или дьяволом<sup>6а</sup>.

Известно, что Паули был сильно привязан к маме. . .

## Теория относительности: Паули и Эйнштейн

Начальное школьное образование Паули получил в Вене. С математикой и физикой тех дней он познакомился за годы учебы в *Döblingen Gymnasium*. В течение последних лет учебы в гимназии он «прочитал совсем недавние работы Эйнштейна. Школьные уроки были скучными и тянулись долго, и Паули читал Эйнштейна, пряча книгу под партой. . . Эти работы произвели на него глубокое впечатление. . . Он сказал мне, что с его глаз как будто спала пелена. . . Он вдруг понял общую теорию относительности<sup>7</sup>».

В июле 1918 года Паули закончил гимназию *mit Auszeichnung* (с отличием). Через два месяца он представил на рассмотрение

<sup>3</sup>Институт медицинской коллоидной химии. — Прим. перев.

свою первую работу по общей теории относительности за подписью: «Мюнхен, Институт теоретической физики». В Мюнхене он посещал университет Людвиг Максимилиана и учился у Арнольда Зоммерфельда. Вскоре появились еще две работы<sup>9</sup>.

Зоммерфельд проявил удивительную смелость и продемонстрировал веру в Паули, когда в четвертом из шести проведенных с Паули семестров он доверил Паули подготовку обзорной статьи по теории относительности для *Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften* (нем. — Энциклопедия математических наук). Так появилась монография на 237 страницах<sup>10</sup>, содержащая критическое представление математических основ и физического значения теории, полное рассмотрение всей литературы по этой теме, уже тогда очень объемной. Эта монография появилась в 1921 году, через два месяца после того, как Паули получил степень доктора.

Эта работа получила широкое одобрение. Наилучшим образом это отражено в рецензии Эйнштейна, опубликованной в 1922 году:

Изучая эту зрелую, имеющую грандиозный размах работу, невозможно представить, что ее автору всего лишь 21 год. Не знаешь, чем восхищаться в первую очередь: психологическим пониманием и правильным развитием идей, уверенным навыком математической дедукции, глубокой физической проницательностью, способностью ясно и систематически излагать свои мысли, знанием литературы, полным и всесторонним рассмотрением темы или уверенностью критической оценки<sup>11</sup>.

Я думаю, что еще ни один молодой физик не получал такого великолепного одобрения.

Как и многие другие, я изучал теорию относительности по статье Паули. И по сей день я нахожу ее лучшей по этой теме. В 1958 году появился ее английский перевод<sup>12</sup>, к которому Паули добавил еще 25 страниц примечаний.

Впервые Паули увидел Эйнштейна в Бад Наухайме (Bad Nauheim) на конференции по физике, которая проходила с 16 по 25 сентября 1920 года. Хотя личной их встречи на конференции, возможно, не было, поскольку в 1924 году Паули писал Бору: «Я подолгу беседовал с Эйнштейном в Инсбруке [конференция по физике с 21 по 27 сентября 1924 года]. Наконец-то я сумел с ним встретиться<sup>13</sup>». Но переписка между ними началась раньше, с письма Паули Эйнштейну, в котором он писал о квантовой физике<sup>14</sup>.

Они снова встретились в 1927 году на пятой Сольвеевской конференции (первая Сольвеевская конференция, которую посетил Паули), которая запомнилась звездным составом собравшихся



в Брюсселе физиков. Там Эйнштейн впервые публично выразил свое критическое отношение к квантовой механике, появившейся в 1925 году. Паули принимал активное участие в дискуссиях. Он был среди тех, кто выступил с комментариями после речи Эйнштейна. Он сдержанно выразил свое несогласие<sup>15</sup>. В 1929 году он писал: «Во время пасхальных выходных я навестил в Берлине Эйнштейна. Его отношение к современной квантовой физике реакционно<sup>16</sup>».

Эренфест назвал Паули «die Geissel Gottes», — «кара Господня»<sup>17</sup>. Я еще раз подчеркиваю, что это относится исключительно к отзывам Паули на некоторые научные усилия его коллег. Лучшим образом это иллюстрируют отзывы Паули на бесплодные попытки Эйнштейна создать единую теорию поля. Они в высшей степени саркастичны, и в то же время отношение Паули к Эйнштейну как к человеку проникнуто уважением и доброжелательностью.

В конце двадцатых годов Эйнштейн предпринял одну из своих попыток объединения с помощью так называемой теории далекого параллелизма<sup>18</sup>. Паули не хотел о ней даже слышать. Он писал одному из коллег: «Jetzt hat Einstein den Bock des Fernparallelismus geschossen» (теперь Эйнштейн состряпал фу-фу о далеком параллелизме)<sup>19</sup>. В письме к другому коллеге он назвал эту теорию «schrecklichen Quatsch» (ужасная чепуха)<sup>20</sup>. А третьему написал: «Einstein scheint der liebe Gott jetzt völlig verlassen zu haben» (Похоже, что теперь Эйнштейн окончательно покинул нашего дорогого Господа)<sup>21</sup>. Самому Эйнштейну Паули писал:

Мне бы хотелось добавить кое-что по поводу моей позиции, которая является точкой зрения большинства молодых физиков, в отношении этого вопроса. . . Мне кажется, что Ваши уравнения не имеют ничего общего с положением вещей, подтвержденным экспериментально. . . Я должен поздравить Вас с тем (или я, скорее, должен сказать «выразить соболезнования по поводу того»), что Вы переключились на чистую математику. . . Я не буду провоцировать Вас на возражения, чтобы не задерживать смерть [Вашей настоящей] теории<sup>22</sup>.

Эйнштейн ответил: «Ваше письмо забавно, а Ваша точка зрения кажется мне несколько поверхностной. . . выскажите ее подробнее по меньшей мере через три месяца<sup>23</sup>». В 1932 году в научном журнале Паули написал: «Изобретательность, которая никогда не подводит Эйнштейна, а также его неисощимая энергия, с которой он устремляется к объединению, гарантируют нам на несколько ближайших лет, в среднем, одну теорию в год. . . В психологическом плане интерес представляет тот факт, что каждая текущая теория рассматривается автором в течение какого-то времени как «окончательное решение»<sup>24</sup>». Эйнштейн писал Паули в том же

году: «Итак, ты был прав, мошенник<sup>25</sup>». В 1933 году Паули сообщил Эйнштейну о *своей* работе по созданию единой теории поля. Это пятимерный вариант, известный как проективная относительность и описываемый Паули в двух работах<sup>27</sup>, только что отосланных для публикации. Но эта в высшей степени элегантная в математическом отношении работа не содержит мечтательных концепций Эйнштейна. После этого переписка между Паули и Эйнштейном была очень редкой.

И наконец в 1943 году Эйнштейн и Паули опубликовали совместную работу, но не по единой теории поля, а по стандартной теории относительности. Они доказали, что любое регулярное и статическое решение однородных гравитационных уравнений, которое ведет себя на больших расстояниях как решение Шварцшильда, должно иметь исчезающую массу Шварцшильда<sup>28</sup>. Это единственная работа по теории относительности Паули после трех коротких статей, с которых он начал свои публикации<sup>8,9</sup>.

## Нобелевская премия Паули

13 января 1945 года Эйнштейн послал в Нобелевский комитет телеграмму следующего содержания: «Выдвигаю кандидатуру Вольфганга Паули на премию по физике точка его вклад в современную квантовую физику, состоящий из так называемого принципа Паули или принципа запрета, стал фундаментальной частью современной квантовой физики, будучи независим от других основных аксиом этой теории, Альберт Эйнштейн<sup>29</sup>».

15 ноября 1945 года Нобелевский комитет вынес решение награждать премией по физике «Вольфганга Паули за открытие его принципа запрета, который также называется «принцип Паули»».

Я задержусь на принципе Паули, чтобы упомянуть тех, кто был выдвинут на получение Нобелевской премии за открытия, сделанные с помощью этого принципа и исходя из него. Я выражаю благодарность профессору Андерсу Барани, секретарю Нобелевского комитета по физике, за предоставленные мне документы.

Коллеги, упоминающие в своих работах, удостоенных выдвижения на получение Нобелевской премии, принцип Паули: Карл Озеен (1933 год), Д. Костер (1934 и 1940 годы), фон Лауэ, Планк и Леон Бриллюэн (1935), Шредингер (1938), Уленбек (1940), Вентцель (1940, 1941, 1943 и 1944 годы). Джон Ван Флек и Крамерс также были среди кандидатов в 1945 году. Я удивлен, что в этом списке нет Бора.

Исходили из принципа Паули в своих работах: Гейзенберг (1932), Штерн (1938 и 1940 годы), Раби (1940) и, возможно, другие. начиная с 1947 года. которые могут продолжить этот список.

Паули не поехал в Швецию в 1945 году, чтобы получить Нобелевскую премию. В понедельник, 10 декабря — традиционная дата нобелевских церемоний в Стокгольме — Паули был удостоен торжественного обеда в Принстонском институте. Директор института Франк Эйделот в своей приветственной речи говорил: «Лишь умы, подобные умам Ньютона, Эйнштейна и Паули, бороздят просторы неизвестных морей мысли<sup>30</sup>». Из речи Германа Вейля: «Трудно представить, какой была бы история физики на протяжении последних двадцати с лишним лет без влияния Паули<sup>30</sup>». За Вейлем выступил Эйнштейн, о словах которого Паули писал в 1955 году, после смерти Эйнштейна Макс Борну:

Нет больше старшего друга, который был благосклонен ко мне. Я никогда не забуду ту речь, которую он произнес обо мне и для меня в Принстоне в 1945 году, после получения мной Нобелевской премии. Он был похож на короля, отрекающегося от престола и назначающего своим последователем меня в качестве «избранного сына». К сожалению, не существует записей этой речи: а поскольку она была импровизацией, нет и рукописи Эйнштейна<sup>31</sup>.

Миссис Паули сказала мне, что было видно, как глубоко тронули Паули слова Эйнштейна. В своей ответной речи Паули дал краткое резюме своих прежних работ. В книге 32 вы найдете список тех, кто еще выступал с поздравительной речью в этот день. 13 декабря 1946 года Паули прочитал в Стокгольме свою Нобелевскую лекцию на тему «Принцип запрета и квантовая механика<sup>33</sup>».

Как я уже упоминал ранее, резкость Паули в дискуссиях и в переписке является, скорее, его интеллектуальной честностью, а не личной агрессивностью. На мой взгляд, нет лучшего способа продемонстрировать это, чем цитируя его письмо Эйнштейну, написанное в 1946 году, после того, как он «был назначен его последователем»:

«Классическая теория поля — это выжатый лимон, в ней невозможно найти что-то новое — это остается моим личным убеждением, и отрицательные результаты Ваших многочисленных попыток немало способствовали его формированию<sup>34</sup>». Эйнштейн — Паули: «Такие попытки кажутся мне весьма обещающими<sup>35,36</sup>».

В 1949 году Паули поздравил Эйнштейна с семидесятилетием:

К своим самым добрым пожеланиям я хочу добавить благодарность за тот дар личной симпатии, который Вы преподнесли мне в Принстоне на декабрьском праздновании. Это было для меня глубоким переживанием. То чувство и интеллектуальное отношение, которое Вы выразили по отношению ко мне, всегда будет служить мне напоминанием о необходимости оставаться преданным тому интеллектуальному идеалу, который нас связывает<sup>37</sup>.

В этом же письме он сообщает Эйнштейну о своем участии в составлении юбилейного сборника основных работ Эйнштейна по квантовой физике в 1905–1918 годах.

В апреле 1955 года, после смерти Эйнштейна, Паули написал некролог, опубликовав его в швейцарской газете<sup>39</sup>, в котором выразилось все его нежное и внимательное отношение к Эйнштейну. Заканчивается некролог такими словами: «Его жизнь, устремленная в будущее, будет нам вечным напоминанием о редком в наши дни идеале мыслителя, спокойно и уверенно направляющего свои мысли на решение важных задач о структуре космоса<sup>40</sup>».

Через несколько месяцев после смерти Эйнштейна состоялась конференция по теории относительности в Берне. Паули был на ней председателем. Открывая конференцию, он сказал: «Этот конгресс... должен стать... прощанием с этим человеком». С заключительным словом на конференции так же выступил Паули<sup>41</sup>.

## Старая квантовая физика: первые встречи с Бором

Я возвращаюсь к осени 1918 года, когда Паули начал учиться у Зоммерфельда в Мюнхене. Там началась его работа над своим основным пристрастием в будущем — над квантовой физикой. Его самая первая работа<sup>10</sup> в этой области физики завершена в июне 1920 года. Ее тема — магнитные свойства вещества. Одно из его самых значительных открытий будет сделано именно по этой теме. Он выступил с докладом на эту тему в Бад Наухайме на своей первой научной конференции<sup>43</sup>.

В июле 1925 года он защитил докторскую диссертацию под руководством Зоммерфельда по модели ионизированной молекулы водорода<sup>44</sup>. В протоколе *examen rigorosum*\* Паули Зоммерфельд похвалил его: «он показал, что полностью владеет всеми современными инструментами математической физики, как, впрочем, и в ранее опубликованных им работах и большой энциклопедической статье<sup>45</sup>». Фактически, Паули получил свою докторскую *summa cum laude*, и это несмотря на тот факт, что его теоретические результаты не совпадали с данными эксперимента! «Эта неудача болезненно отразилась на уверенности в себе молодого физика, привыкшего к успеху<sup>46</sup>».

Но высокая оценка Зоммерфельда была, тем не менее, вполне оправдана. Вспомните, что Паули защитил диссертацию в годы так называемой «старой» квантовой теории, которую трудно было

\*Кандидатский экзамен (лат.) — *Прим. перев.*

назвать теорией, потому что она строилась на специально выведенных законах, наложенных на классическую теорию того времени. Эти предположения противоречили классической теории. Значение работы Паули состоит в том, что в ней *впервые* было представлено наглядное свидетельство того, что старая квантовая «теория» достигла пределов своей применимости, и это несмотря на ее значительные успехи, показавшие, что в импровизациях физиков того времени содержалось нечто большее, чем росток истины.

Самый полный авторитетный обзор старой квантовой теории принадлежит опять-таки Паули. Это его статья для справочника<sup>47</sup>, которую он завершил в октябре 1925 года, после открытия квантовой механики, теории, впервые давшей твердую логическую основу квантовой физике. Эта статья уже не важна для современной науки, но незаменима для тех, кто интересуется историей структуры атома двадцатого столетия.

---

Паули выказывал огромное уважение к Зоммерфельду. Его отношение к нему было неизменно безупречно учтивым, если не сказать благоговейным. После смерти Зоммерфельда в апреле 1951 года в результате автомобильной аварии Паули писал: «Это немногим дано... Зоммерфельд гармонично сочетал в себе качества исследователя и учителя... Скорбя по нему... мы, дети его интеллекта, будем продолжать его труды<sup>48</sup>».

Зоммерфельд был одним из двух человек, которые позднее сыграли значительную роль в его жизни и с которыми он познакомился в Мюнхене. Вторым был Вернер Гейзенберг. Он был на полтора года моложе Паули и стал студентом Зоммерфельда в 1920 году. Гейзенберг позднее вспоминал: «Зоммерфельд представил меня ему (П)... и после этого сказал, что считает его одним из самых одаренных студентов, от которого я могу многому научиться<sup>49</sup>». Гейзенберг рассказывал об образе жизни Паули в те годы: «Вольфганг был типичной совой. Вечера он предпочитал проводить в городе, в каком-нибудь кафе, после чего в высшей степени напряженно и с большим успехом работал над своей физикой. К досаде Зоммерфельда, он редко посещал его утренние лекции и вставал лишь к полудню<sup>50</sup>».

В октябре 1921 года Паули уехал из Мюнхена в Геттинген, чтобы стать ассистентом Макса Борна, который в том же месяце писал Эйнштейну: «Паули поразительно умен и очень одарен. Кроме того, он добр, вполне нормален, жизнерадостен и похож на ребенка<sup>51</sup>... малыш Паули стимулирует мою работу<sup>52</sup>... У ме-

ня больше не будет второго такого ассистента...<sup>52</sup>». Позднее: «Я помню, он любил поспать по утрам и не раз пропустил одиннадцатичасовую лекцию. В 10.30 мы посылали служанку, чтобы удостовериться, что он встал<sup>53</sup>».

Борн и Паули в сотрудничестве работали над длинной статьей по методам квантовомеханической теории возмущений<sup>54</sup> и сделали неудачную попытку интерпретации по атому гелия. В апреле 1922 года Паули вновь переезжал, теперь в Гамбург, на должность ассистента. В следующем июне он посетил Геттинген, чтобы послушать курс лекций Нильса Бора. Об этом времени он позднее писал: «Когда я впервые лично встретился с Бором, в моей жизни начался новый период<sup>30</sup>».

---

В Принстоне, на торжественном обеде в честь вручения Паули Нобелевской премии, он вспоминал:

В одну из наших встреч Бор спросил меня, не смогу ли я приехать на год к нему в Копенгаген. Ему нужен был сотрудник, чтобы редактировать его работы, которые он хотел опубликовать на немецком языке. Я очень удивился и, поразмыслив немного, сказал со всей уверенностью, на которую только способен молодой человек: «Я не думаю, что мне будет сложно соответствовать Вашим научным требованиям, но изучение иностранного языка, такого как датский, намного превышает мои способности». Я поехал в Копенгаген осенью 1922 года, оба мои утверждения оказались неверными<sup>30</sup>.

Когда он был в Мюнхене, Зоммерфельд познакомил его с теорией структуры атома Бора с ее использованием дискретных наборов электронных орбит вместо непрерывных наборов в классической теории. «Я не избежал того удивления, которое испытывал каждый физик, привыкший к классическому образу мышления, познакомившись с «Основными постулатами квантовой теории» Бора<sup>30,33</sup>».

В июле 1922 года Бор написал Паули, что не может дождаться, когда тот снова придет<sup>55</sup>. Так началась переписка, продолжавшаяся более тридцати лет. Она является богатейшим источником знаний по истории физики того периода. В июле Бор написал еще Крамерсу: «Он [П.] отличный человек во всех отношениях, и он будет превосходным помощником<sup>56</sup>». Паули прибыл в Копенгаген в октябре 1922 года и оставался там до сентября 1923 года. Позднее он часто приезжал на более короткое время (каждый год, начиная с 1925 года до 1931 года, затем в 1933, 1936, 1937, 1946, 1947, 1954 годах).

Во время своего первого визита в Копенгаген Паули закончил три работы. Одну работу он писал вместе с Крамерсом по полосатым спектрам<sup>57</sup>. Вторая, по тепловому равновесию между излучением и свободными электронами<sup>58</sup>, послужила ему в качестве *Habilitationschrift* (работа, которую необходимо представить для квалификации в качестве преподавателя университета) в Гамбурге после его возвращения туда из Дании. Третья, по аномальному эффекту Зеемана<sup>59</sup>, отмечает начало серии исследований, кульминацией которых явилось открытие, сделанное Паули в январе 1925 года. И я думаю, это была вершина его научного творческого наследия.

## Принцип запрета

Когда атомы находятся в возбужденном состоянии (при нагреве, например), они испускают линейчатый спектр-дискретный набор световых частот. Если мы подвергнем атом воздействию достаточно сильного магнитного поля, то произойдет расщепление каждой линии на несколько. Это и есть эффект Зеемана, названный так после его открытия в 1896 году голландским физиком Питером Зееманом. В 1897 году было продемонстрировано, что классическая теория предсказала расщепление в триплет линий при наблюдении, перпендикулярном направлению магнитного поля. Это называется нормальным эффектом Зеемана. Но в 1898 году было замечено, что определенная линия в спектре натрия, в действительности, расщепляется в квартет. Это был первый пример того, что сейчас мы называем аномальным явлением Зеемана. Что касается нормального явления, то оно с тех пор было признано, скорее, исключением, чем правилом. В Копенгагене Паули поставил перед собой задачу дать интерпретацию аномального явления Зеемана на основе старой квантовой теории.

К тому времени было известно, что аномальные расщепления демонстрируют красивые и простые закономерности, «но этому вряд ли можно было найти объяснение, поскольку очень общие предположения по поводу электрона, на основе использования классической и старой квантовой теории, неизменно приводили к простому триплету. Более закрытая интерпретация этой задачи оставила во мне чувство того, что это еще менее доступный подход<sup>30</sup>». Паули писал Зоммерфельду в июне 1923 года: «Я не мог, не мог найти соответствия. До сего времени я двигался в неправильном направлении<sup>60</sup>». Позднее он вспоминал: «Однажды я бесцельно слонялся по красивым улицам Копенгагена, и встретившийся мне коллега лouchески заметил, что я выгляжу

несчастливым, на что я свирепо ответил: «Как можно выглядеть счастливым, если думаешь об аномальном явлении Зеемана?»<sup>30</sup>»

Этот эффект составлял одно из главных поражений старой квантовой теории. В то время и сам Паули говорил об этом так: «Аномальное явление Зеемана наиболее ясно демонстрирует, насколько глубока несостоятельность тех теоретических принципов, которые известны нам сейчас»<sup>61</sup>».

---

Величайшая заслуга Паули состоит в том, что несостоятельность этой теории не отпугнула его от попыток решить эту задачу об аномальном зеемановском явлении. Результатом явились две работы. Первая, законченная в декабре 1924 года, с критической точки зрения рассматривает другие попытки интерпретировать это явление<sup>62</sup>. Вторая работа, которую Паули завершил через шесть недель, содержит то, что в 1926 году Дирак назовет принципом запрета Паули<sup>64</sup>. Эти две статьи содержат много технических подробностей, о которых я уже где-то писал<sup>65</sup>. Я не буду здесь вдаваться в детали и ограничусь коротким, возможно, немного поверхностным, описанием основных направлений мысли.

В то время считалось, что большинство электронов в атоме занимают какое-то количество заполненных и замкнутых оболочек, которые вместе формируют *Atomrumpf*, атомный остов. Вне ядра также могут находиться один или несколько электронов, это так называемые валентные электроны. Эти последние при возбуждении зарождают атомные линейчатые спектры. В 1923 году было высказано предположение, что причиной аномального явления Зеемана является заданный тип связи между угловыми моментами валентных электронов и предполагаемым общим угловым моментом остова<sup>65</sup>. В обзорной статье (1925 года) Гаудемит написал<sup>66</sup>: «Некоторые из предположений этой модели были «абсолютно непонятны», но, приняв их, «полностью овладеешь обширным и сложным материалом аномального явления Зеемана».

Затем пришел Паули, который проанализировал эту модель для щелочных атомов, обладающих лишь одним валентным электроном. Он показал, что для них идея об угловом моменте остова серьезно противоречит другим экспериментам<sup>62</sup>. Парадокс: как это может быть, что теория, следовательно, оказывается неправильной, но ее применение к аномальному явлению Зеемана работает с точностью примерно до одного процента? Ответ Паули: «Остов обладает строго нулевым угловым моментом, и остается лишь один вариант — приписать аномалию валентному электрону. По его словам, объяснение мы находим «в специфической, некласс-



сически описываемой двойственности [*Zweideutigkeit*] квантово-теоретических свойств валентного электрона<sup>62</sup>».

Сегодня нам хорошо известно, что означает эта двойственность: электрон несет в себе спин — собственный угловой момент движения. Мы можем сравнить его с Землей, которая вращается вокруг своей оси и в то же время обращается вокруг Солнца. Спин электрона может принимать только два значения. Многие недоумевали, почему Паули не сделал еще один шаг и не открыл это сам? Я тоже не совсем это понимаю, но могу привести одну из причин.

Через четыре дня после получения Зоммерфельдом его работы по аномальному явлению Зеемана он писал ему: «Я продвинулся вперед на несколько пунктов... [относительно]... вопроса о замкнутости электронных групп в атоме<sup>67</sup>». Он отклонился от вопроса: что может означать двойственность? к вопросу: связана ли двойственность с замкнутыми электронными оболочками в атомах?

В октябре 1924 года Эдмунд Стонер предположил<sup>68</sup> следующий закон: «Количество электронов в каждой замкнутой оболочке равняется удвоенной сумме внутренних (полных) квантовых чисел». Мне следует объяснить. Представьте, что мы, как правило, называем независимой корпускулярной моделью для атома: каждый электрон движется вокруг ядра независимо от всех остальных и, следовательно, описывает орбиту, подобную водородной. Тогда мы можем приписать *каждому* электрону следующие квантовые числа: главное квантовое число  $n$  и квантовое число  $l$ , которое (как известно из водородной модели) может принимать значения  $l = 0, 1, \dots, n - 1$ . Представьте далее, что эти независимые электроны находятся во внешнем магнитном поле. Появляется третье квантовое число:  $m$ , и каждый уровень расщепляется на  $2l + 1$  уровней, согласно чему  $-l \leq m \leq l$ . Число  $N$  уровней таково:

$$\begin{aligned} n = 1 : l = 0 & \quad N = 1 \\ n = 2 : l = 0, 1 & \quad N = 1 + 3 = 4 \\ n = 3 : l = 0, 1, 2 & \quad N = 1 + 3 + 5 = 9 \text{ и т. д.} \end{aligned}$$

Закон Стонера гласит: оболочка соответствует фиксированному  $n$ , а число электронов в данной оболочке, в случае полного заполнения, равняется удвоенному  $N$ .

Почему удвоенному?

Здесь инициативу перехватывает Паули<sup>63</sup>. Он предлагает «следовать так далеко, как только возможно, рабочей гипотезе [*o Zweideutigkeit*] не только в отношении атомов щелочных металлов, но и других» и продолжает вводить новые постулаты о двойственности: первое. она применяется к *каждому* атомному элек-

трону; и второе, она формально выражается *двузначным* новым квантовым числом. Этот путь привел его к введению *четырёх* квантовых чисел для каждого электрона. Происходит удвоение числа положений, которое, как предполагает Паули, и отвечает за удвоение  $N$  и в законе Стонера. Почему оболочка не может содержать *больше*  $2N$  электронов? «В атоме никогда не может быть двух или более эквивалентных электронов, для которых значения всех квантовых чисел совпадают. Если в атоме имеется электрон, для которого эти квантовые числа имеют определенные значения, тогда положение «занято»<sup>63</sup>.

Это и есть принцип запрета Паули, к которому он пришел следующим путем:

аномальное явление Зеемана  $\rightarrow$  двойственность  
 $\downarrow$   
 закон Стонера  $\rightarrow$  принцип запрета.

Он хорошо осознавал, что это еще не конец всей истории: «Мы не можем привести более точный аргумент для этого закона<sup>63</sup>». Действительно так, и все же даже в том виде, в каком он есть, этот закон имеет огромное значение в качестве решающего ингредиента для понимания периодической таблицы химических элементов.

Открытие Уленбеком и Гаудсмитом спина электрона, публикация о котором появилась в октябре 1925 года<sup>69</sup>, дало правильную физическую интерпретацию *Zweideutigkeit* Паули. В то время нерешенными оставались некоторые важные детали относительно картины электрона, что объясняет комментарий, сделанный Паули в письме Бору в следующем декабре: «Die Sache gefällt mir nicht» (Мне не нравится это дело)<sup>70</sup>. Но к марту 1926 года Паули изменил свою точку зрения<sup>71</sup>. Я отсылаю читателя к моему эссе об Уленбеке в этой книге, где он может прочитать о том, что произошло между этими датами, а также о замечании, высказанном Паули относительно основного спина<sup>72</sup>, и наблюдения Уленбека о личности Паули.

Мы говорили о том, где Паули провел годы до 1923, когда он уехал из Копенгагена и вернулся в Гамбург. Он оставался в Гамбурге до 1928 года. 24 февраля 1924 года он прочитал свою лекцию при вступлении в должность приват-доцента. Темой лекции

была периодическая таблица химических элементов. В Гамбурге он закончил свои работы по аномальному явлению Зеемана и принципу запрета.

Кроме того, в 1924 году он завершил обширный обзор по теории излучения абсолютно черного тела, публикацию которого он задерживал до 1929 года<sup>73</sup>, а также принял участие в обсуждении злополучной теории излучения Бора–Крамерса–Слэтера. Последнюю тему я где-то уже подробно рассматривал.

### «Es wird tag in der quantentheorie»

«И вновь физика в тупике. Как бы там ни было, для меня это слишком тяжело. Я бы хотел быть комедийным актером или заняться чем-то вроде этого и никогда больше не слышать о физике». Так, 21 мая 1925 года, Паули писал коллеге<sup>75</sup> через пять месяцев после завершения работы над принципом запрета.

Через два месяца после того, как Паули написал это письмо, тупик в физике перестал быть тупиком, появилась перспектива. 29 июля Гейзенберг представил свою статью<sup>76</sup>, знаменующую начало квантовой механики. Эта работа закрыла старую квантовую теорию, которая всеми своими успехами и неудачами способствовала появлению того, что я считаю величайшей революцией в науке двадцатого века.

Насколько я знаю, Паули первым услышал о новой теории, когда Гейзенберг написал ему в июне: «Принцип таков: при вычислении каких бы то ни было величин, энергии, частот и т. п. можно учитывать лишь те величины, которые в принципе наблюдаемы<sup>77</sup>». В начале июля Гейзенберг послал ему расширенную копию работы. Но еще до ее получения Паули писал Крамерсу с несомненным энтузиазмом: «Я приветствовал смелые начинания Гейзенберга с ликованием<sup>78</sup>». И через несколько месяцев сообщает другому коллеге: «Механика Гейзенберга возродила мою жажду к жизни<sup>79</sup>».

В ноябре 1925 года Паули внес свой вклад<sup>80</sup> в развитие новой механики, *tour de force*: вычисления, сделанные матричными методами, дискретного спектра атома водорода и его эффекта Штарка (влияние внешнего электрического поля). Оба результата были успешно вычислены и при помощи старой квантовой теории, но Паули добавил еще один результат, старая теория потерпела неудачу при его вычислении<sup>81</sup>: это влияние пересекающихся электрического и магнитного внешних полей. Бор с радостью приветствовал эти «замечательные результаты»<sup>82</sup>. Гейзенберг отмечал: «Я немного опечален тем, что сам не смог успешно выве-

сти спектр водорода из новой теории<sup>83</sup>», и, обращаясь к Паули: «Я восхищен тем, что Вы вывели эту теорию так быстро<sup>84</sup>».

---

Следующий фундаментальный шаг вперед произошел в квантовой физике в январе 1926 года, когда Шредингер представил первую из серии работ по волновой механике<sup>85</sup>. И вновь Паули был под большим впечатлением от этого открытия, это ясно из его письма Иордану: «Я думаю, что эта работа принадлежит к числу самых значительных из всех недавно опубликованных работ. Прочитай ее внимательно и с преданностью делу<sup>86</sup>».

Появляется очевидный вопрос: какова связь между двумя теориями, успешной матричной механикой Гейзенберга и не менее успешной волновой механикой Шредингера? Совсем немного времени понадобилось на то, чтобы не один, а сразу несколько физиков доказали, что эти две теории, фактически, эквивалентны. Одним из них был Паули, не опубликовавший свой результат, потому что Шредингер сделал это раньше<sup>87</sup>. Но несколькими коллегами он написал о том, что независимо от Шредингера пришел к тому же выводу (более детально это отражено в работе 86).

Другие памятные события 1926 года: введение вероятности в фундаментальные законы квантовой физики Максом Борном<sup>88</sup>, применение Паули этой идеи к общим системам  $N$ -тел<sup>89</sup>, первое применение квантовой механики к молекулярной физике Паули<sup>90</sup>, его выдвижение на должность профессора в Гамбурге<sup>91</sup>.

Основные идеи квантовой механики в том виде, в каком мы знаем ее сейчас, окончательно оформились в 1927 году. Сначала появилась работа Гейзенберга по соотношению неопределенностей<sup>92</sup>. И вновь Паули первым узнал об этой работе из длинного письма Гейзенберга<sup>93</sup>, который вспоминал: «Реакция Паули была намного положительнее, чем я ожидал. . . Это вдохновило меня написать содержание этих рассуждений», и ответ Паули был: «Es wird tag in der quantuntheorie» (наступает день в квантовой теории)<sup>83</sup>.

Далее следует понятие о дополнительности Бора. Впервые оно упоминается в письме к Паули в августе 1927 года<sup>94</sup>. Перед публикацией Бор впервые выступал по этой теме на конференции в Комо 16 сентября<sup>95</sup>. После конференции Бор и Паули, который тоже слушал выступление Бора, поехали на неделю на озеро Комо, чтобы переработать рукопись<sup>96</sup>. Примерно в это время в обращении друг к другу они перешли с официального *Sie* («Вы») на дружеское *Du* («ты»)<sup>97</sup>.

Следующее значительное событие — это пятая Сольвеевская конференция, на которую приехали все основатели квантовой теории. Там начался спор Бора с Эйнштейном по основам квантовой физики<sup>98</sup>. Присутствовавшие там Паули с Гейзенбергом не обращали особого внимания на возражения Эйнштейна, «*ach was, das stimmt schon, das stimmt schon*» (да ладно, все будет в порядке, все будет в порядке)<sup>99</sup>.

---

До этого момента мой отчет о деятельности Паули в 1927 году был сосредоточен на его роли товарища по оружию в отношении Гейзенберга и Бора. Сейчас я перехожу к его собственным работам этого периода.

Первым его научным вкладом в этом году была квантовая теория парамагнетизма<sup>100</sup>, о которой писали: «Наверное, не будет преувеличением сказать, что современная теория металлов началась с работы Паули по парамагнетизму электронного газа<sup>101</sup>».

Эта работа представляет также интерес с точки зрения истории, поскольку показывает, что Паули в то время еще не понял, какую из двух существующих статистик и когда следует применять: «Для материального газа используется статистика Ферми, а не статистика Бозе–Эйнштейна<sup>100</sup>». Такой же точки зрения придерживались и некоторые другие известные физики<sup>102</sup>.

Его вторая значительная работа 1927 года состоит в развитии темы о том, что два года назад он назвал «неклассически описываемой двойственностью». Теперь он ввел «собственный момент количества движения [т. е. спин] электрона в заданном направлении в качестве новой переменной<sup>103</sup>». С этой целью он применил такие знакомые сейчас матрицы Паули  $2 \times 2$ . Он подчеркнул, что это нерелятивистская теория, а следовательно, «предварительная и приближенная»<sup>103</sup>.

В 1928 году Паули занялся релятивистской теорией, прославленным уравнением Дирака<sup>104</sup>. Его работа была немедленно признана большим шагом вперед, хотя в результате появились новые серьезные задачи, которые были решены лишь после того, как было высказано предположение, за которым последовало открытие позитрона<sup>104</sup>.

Эти начальные трудности объясняют критическое отношение Паули к работе Дирака в то время. Я хочу проиллюстрировать это историей, рассказанной мне Уленбеком. В Энн Арборе, летом 1931 года, Паули посетил лекцию, темой которой было пресловутое уравнение. Лекцию читал Роберт Оппенгеймер. В середине лекции Паули встал, промаршировал к доске и схватил кусок

мела. Он постоял, повернувшись лицом к доске, покачал в руке мел, потом сказал: «Ach nein, das ist ja alles falsch». . . (в любом случае, все это неверно). Крамерс скомандовал своему другу Паули выслушать лектора до конца. Паули вернулся на свое место и сел. Некоторые из этих оговорок сохранились в замечательном обзоре принципов квантовой механики, написанном Паули в 1933 году<sup>105</sup>.

## Первая работа по квантовой теории поля; переезд в Цюрих

История квантовой физики в ее применении к электромагнитному полю начинается с первых работ по квантовой теории, авторами которых являются Планк (1900) и Эйнштейн (1905)<sup>106</sup>.

Возраст квантовой механики насчитывал всего лишь два месяца, когда мы уже находим ее применение к электромагнетизму в работах Борна и Иордана, в которых они представили то, что называли «матричной электродинамикой»<sup>107,108</sup>. Спустя еще два месяца их идеи получили значительное развитие в работе Борна, Гейзенберга и Иордана<sup>109</sup>.

Эти две значительные ранние работы рассматривают квантовую теорию чистого электромагнитного поля, а именно, они еще не рассматривают взаимодействие этого поля с материей. Первые шаги в этом трудном и долговременном по своему развитию направлении сделал Дирак<sup>110</sup>. Его работа отмечает начало того, что сейчас мы называем квантовой электродинамикой<sup>111</sup>. В том же году Паули начал собственное исследование в квантовой теории поля. Оно занимало его до конца жизни.

В письме Гейзенберга к Паули я нашел первые признаки его пробуждающегося интереса к этой теме: «Я вполне согласен с тобой программой относительно электродинамики»<sup>112</sup>». Через месяц Паули написал Иордану: «Посмотрим, смогу ли я сделать квантовую электродинамику. Пока я в хорошем настроении»<sup>113</sup>».

Первая работа Паули по квантовой электродинамике рассматривает релятивистскую инвариантность этой теории. Вопрос ставился такой. До того времени все коммутационные соотношения были «одновременными коммутаторами», коммутируемые операторы относились к одному моменту. С точки зрения относительности это демонстрирует явно неуклюжую асимметрию — отношение к разным точкам в пространстве, но к одной и той же во времени. Не то чтобы эти соотношения нарушали требования теории относительности, но появлялась необходимость доказывать их совместимость с данной теорией.

Впервые это было сделано Иорданом и Паули<sup>114</sup> для свободного электромагнитного поля, в котором временная зависимость операторов известна в явной форме, чтобы можно было явно вычислить перестановочные соотношения между различными компонентами электрического и магнитного полей в разных пространственно-временных точках. Они проверили совместимость с теорией относительности и первыми обобщили дельта-функцию Дирака до знаменитой «инвариантной дельта-функции».

---

Эта работа была последней работой Паули на посту профессора в Гамбурге. 10 января 1928 года он был назначен профессором в ФТИ в Цюрихе и оставался в этой должности до 1 апреля следующего года. В Цюрихе он и поселился до конца своей жизни, надолго уехав, лишь когда война внесла в его планы свои коррективы. В Гамбурге Паули сменил Иордан.

---

В январе 1928 года Паули писал Вейлю о своих планах найти «новую квантовую интерпретацию классической физики», включая в нее взаимодействие с материей<sup>115</sup>. Такую цель поставил себе Паули, намереваясь работать в тесном сотрудничестве с Гейзенбергом. Вскоре они наткнулись на первую проблему — бесконечность собственной энергии электрона. Эта трудность была свойственна и классической теории<sup>116</sup>. Чем дальше они продвигались, тем больше возникало препятствий. Наконец, и Паули, и Гейзенберг обратились к решению других задач. Паули начал рассматривать некоторые вопросы в квантовой статистической механике<sup>117</sup> и, кроме того, начал писать черновик романа «Путешествия Гулливера в Уранию, политическая сатира»<sup>118</sup>. Он так никогда и не закончил роман. Гейзенберг сообщил ему, что нашел способ решить оставленные на время задачи. Они вновь вернулись к совместной работе, результатом которой явилась их работа «По квантовой динамике волновых полей»<sup>119</sup>. Как видно из названия, их основной результат, так называемый канонический метод квантования, имеет более широкое применение, чем только в квантовой электродинамике. Он стал стандартным методом в квантовой теории поля. Трудной частью работы было доказательство релятивистской инвариантности канонических коммутационных соотношений, о котором Паули говорил: «Ich warne Neugierige» (Предвещаю необычайное)<sup>120</sup>.

За этой работой последовала вторая совместная работа<sup>121</sup>, в ней они вернулись к осложнениям, о которых упоминалось ранее<sup>119</sup>, касающимся нулевой массы фотона, и улучшили свою трактовку с помощью доказательства калибровочной инвариантности. Но все еще оставалась трудность по вопросу о собственной энергии, что заставило их написать: «До окончательной формулировки теории еще далеко<sup>121</sup>». Этими работами заканчивается первый период развития квантовой теории поля.

## Два брака Паули

Я уже говорил, что в 1927 году мать Паули покончила жизнь самоубийством, а отец через год вновь женился. О его второй жене Паули упоминает как о «злой мачехе»<sup>6а</sup>. Вряд ли эти события можно считать стимулом к тому, чтобы и сам Паули вступил в брак, но именно это и произошло.

23 декабря 1929 года в Берлине Паули заключил брак с Кэт Маргарет Дешпнер. Они с Кэт часто встречались в Берлине, где она училась в Школе Макса Ренхардта. Позднее она стала артисткой в танцевальной школе Труди Шорр в Цюрихе. Не знаю, связано ли с Кэт еще одно событие этого года: 6 мая Паули отошел от католичества.

Слухи о его надвигающейся помолвке, должно быть, распространились еще раньше, потому что еще в августе Паули писал Вейлю: «Что касается меня, то я должен отвергнуть понятие о «невесте» из-за того, что оно слишком буржуазно<sup>122</sup>». Если это утверждение кажется вам довольно негативным, то что вы скажете о его письме Клейну через два месяца после бракосочетания, в котором писал: «Если в какой-то момент моя жена сбежит от меня, Вы, как и другие мои друзья, получите опубликованное сообщение об этом событии<sup>123</sup>». И еще через месяц, снова Клейну, по поводу планируемой поездки в Копенгаген: «Моя жена, возможно, не поедет со мной. Если я вообще женат, то на этот раз свободно!<sup>124</sup>». Не сопровождала она его и в долгом путешествии (август–сентябрь 1930 года) в Советский Союз, куда Паули отправился на седьмой всесоюзный конгресс физиков, проходивший в Одессе.

В сентябре 1937 года Паули совершил вторую поездку в Россию (думаю, это был его последний визит), чтобы посетить второй всесоюзный конгресс по ядерной физике, проходивший в Москве, где Паули читал свой доклад по теории  $\beta$ -распада<sup>125</sup>. Он писал об этой поездке: «У меня сложилось ужасное представление об этой стране. Я никогда раньше не видел такого террора. Все боится говорить, а молодые люди боялись даже заходить ко мне



в гостиницу<sup>126</sup>». К тому времени его брак уже давно развалился, завершившись разводом менее, чем через год. Развод состоялся 29 ноября 1930 года в Вене. В одном из своих последних писем, написанном за два месяца до своей смерти, Паули говорил о своем «жизненном кризисе (1930–31 годов)»<sup>127</sup>.

В начале 1930-х годов у Паули начались серьезные проблемы, он начал сильно пить. Неудачный брак, я полагаю, был тому причиной. Его отец предложил, чтобы он обратился за помощью к психиатру. Он посоветовал ему Карла Юнга. Паули так и сделал. Карл Юнг попросил свою молодую ассистентку Эрну Розенбаум заняться Паули. В начале февраля 1932 года Паули прошел пятимесячный курс психоанализа, за ним последовали три месяца самоанализа. После чего работу с ним продолжил сам Карл Юнг, проанализировав последовательно 400 снов Паули, 355 из которых он анализировал вне всякого контакта с ним<sup>127a</sup>. После завершения анализа Юнг и Паули постоянно и стабильно переписывались (я еще вернусь к этой переписке). Лишь незадолго до смерти Паули переписка прекратилась.

---

Между тем, в октябре 1931 года настроение Паули, возможно, улучшилось, после того как он получил в Амстердаме медаль им. Лоренца. В своей речи его друг Эренфест говорил о достоинствах Паули: о его «проницательном уме, ясности и честности, исключительном внимании к другим исследователям, с которым он относился к их заслугам<sup>128</sup>». Об этом праздничном событии рассказывают такой анекдот. Эренфест приказал Паули явиться на торжество в черном костюме, на что Паули ответил: «Я заказал черный костюм, но я надену его лишь в том случае, если ты пообещаешь мне публично поблагодарить меня за то, что я не пожалел усилий и обратился к портному<sup>129</sup>». В опубликованной версии этой речи Эренфеста упоминания о костюме не было, но Казимир вспомнил, что Эренфест упомянул об этом. «Я был на церемонии. . . , но не помню точную фразу. Но я помню его усмешку и одобрителное повышение амплитуды колебаний его тела<sup>130</sup>».

Когда через два года Эренфест покончил с собой, Паули написал волнующий некролог: «25 сентября этого года [1933] Пауль Эренфест исполнил свое роковое решение освободиться от жизненного груза, который он не мог более выносить. . . Сейчас мы должны попытаться сохранить память о его личности. . . , его участие в любой дискуссии было похоже на фонтан остроумия и энергии. . . <sup>131</sup>».

В 1933 году Паули встретил Франку Бертрам на вечеринке в Цюрихе. Она была дочерью мюнхенского бизнесмена и жила в то время в Цолликоне, пригороде Цюриха. Тем летом они вместе совершили автомобильную поездку на юг Франции. Паули приобрел автомобиль. У него была «слегка смущающая пассажиров привычка говорить время от времени: «Ich fahre Ziemlich gut» (Я довольно хорошо вожу машину), он подчеркивал это утверждение тем, что, произнося его, поворачивался к пассажирам и выпускал из рук руль<sup>131a</sup>». Об авариях ничего неизвестно. На Рождество Паули представил Франку своим родителям в Вене. Они поженились 4 апреля 1934 года в Лондоне. В отсутствие Паули Франка руководила обустройством их нового дома в Цолликоне на Бергштрассе 35<sup>131b</sup>. Это был удачный брак, продолжавшийся до самой смерти Паули.

### **Физика в тридцатые годы; главным образом, о нейтринно**

В распоряжении Паули в институте физики ФТИ, который располагался тогда на Глориаштрассе, 35, в старом Цюрихе, было несколько кабинетов. «Три раза в неделю он читал курс лекций по теоретической физике, который был явно начальным курсом, что, естественно, не прибавляло расположения к нему студентов<sup>132</sup>». Кроме того, раз в неделю он читал курс на специальные темы для перспективных студентов. У него было очень мало студентов, защитивших докторскую диссертацию. И все же его влияние на молодое поколение было самым значительным, вследствие того, что он давал своим ассистентам (ассистентов он приглашал по одному), которых и следует считать его учениками. В 30-е годы ими были (в порядке появления)<sup>133</sup>: Ральф Крониг, Феликс Блох, Рудольф Пайерлс, Хендрик Казимир, Виктор Вайскопф, Пауль Гуттингер, Гвидо Людвиг, Николас Кеммер и Маркус Фирц. Все они стали известными физиками. Типичный пример требовавший Паули к своим ассистентам мы находим в письме к Кронигу, который в 1928 году стал его первым ассистентом: «Каждый раз, когда я утверждаю что-то, Вы должны возражать мне, подкрепляя свое возражение подробной аргументацией<sup>134</sup>». Крониг сообщал о своей деятельности вне расписания: «Как раз сейчас мы изучаем ночную жизнь в Цюрихе и пытаемся улучшить ее с помощью нового метода Паули<sup>135</sup>».

Назначение Грегора Вентцеля в Цюрихский университет было

еще одним стимулом для Паули. Паули и Вентцель хорошо ладили друг с другом. Их совместный семинар, несомненно, обогатил студенческую жизнь в Цюрихе, которая, впрочем, и так была разнообразной. Более того, туда на разный срок приезжали лучшие молодые физики. Среди них были: Хоми Баба, Макс Дельбрюк, Лев Ландау, Оппенгеймер и Раби. Так, хотя и не существовало цюрихской школы, но там всегда можно было найти немало талантливых людей.

---

В начале своего цюрихского периода Паули сделал одно из своих самых важных открытий в физике: это предложенная им гипотеза о нейтрине, которую он описал в 1957 году в лекции по ранней и поздней истории нейтрино<sup>136</sup> и о которой он говорил в 1958 году не иначе как «это глупое [nährisch] дитя кризиса моей жизни<sup>127</sup>».

Хотя очень трудно, если вообще возможно, понять, что является причиной, а что — следствием в устремлениях человека, особенно в отношении его творческой деятельности, я все же склонен связывать период смятения в личной жизни Паули и момент рождения нового постулата. Революционные шаги не были чертой его характера. Он и сам однажды сказал о себе в конце жизни: «Когда я был молод, я считал себя революционером... я был приверженцем классицизма, а не революционером<sup>137</sup>». Зная его лично, я соглашусь с его самооценкой. Но в любом случае, даты поразительно совпадают. Первое сообщение о новой гипотезе появилось на той же неделе, во время которой состоялся его бракоразводный процесс (26 ноября 1930 года). 1 декабря: Гейзенберг в письме к Паули пишет фразу «твои нейтроны»<sup>138</sup>. Это не «наш нейтрон», обнаруженный двумя годами позднее, это название, которое Паули первоначально дал нейтрину. 4 декабря: письмо Паули группе физиков в Тюбинген. Это письмо часто цитируется<sup>139,140</sup>. Здесь я приведу лишь основные моменты письма («нейтрон» — это нейтрин):

Я все еще продолжаю безнадежно блуждать в вопросе относительно «неправильной» статистики ядер азота и лития, а также непрерывного  $\beta$ -спектра... а именно, о возможности существования в ядре электрически нейтральных частиц... Масса «нейтронов» должна быть не больше чем 0,01, умноженное на массу протона... Пока я не осмеливаюсь публиковать ничего по поводу этой идеи.

Нежелание Паули публиковать материалы по этой идее не следует считать скромностью или скрытностью. Не следует также драматизировать его чувство безнадежности. Помните, это был

1930 год. Тогда были известны лишь три фундаментальные частицы: электрон, фотон и протон, и лишь одна из них — фотон, была предсказана теоретически. Вигнер мне однажды сказал, что его первой реакцией на постулат Паули была мысль о том, что все это безумие, но смелое безумие.

Заметим далее, что упоминание Паули «неправильной статистики» относится к изобиливающим в то время парадоксам относительно электронного спина, магнитных моментов и статистики. (Это подробно обсуждается в работе 141.) Следовательно, он надеялся, что его гипотеза будет общим средством от двух болезней. Ни он, ни кто-либо другой не могли даже предположить, что для двух этих болезней необходимы два разных средства: наш «нейтрон» и его нейтрино.

Из письма Клейну, написанном через неделю<sup>142</sup>, мы видим, что вначале Паули неправильно считал его «нейтрон» составной частью ядра: «Сейчас важно выяснить, какие силы воздействуют на «нейтрон», поскольку «нейтроны» не могут оставаться в ядре, если таких сил нет или они достаточно слабые». Этот вопрос прояснился лишь в 1934 году; смотри далее.

В декабре Паули завершил свою единственную другую работу 30-х годов по ядерным задачам, а именно, по сверхтонкой структуре спектра лития<sup>143</sup>. В мае 1931 года он уехал из Цюриха в свою первую поездку в США.

---

16 июня Паули выступал в Пасадене с докладом «Задачи сверхтонкой структуры» на симпозиуме по настоящему положению задачи о ядерной структуре. Симпозиум был организован Американским физическим обществом и Американской Ассоциацией по перспективным исследованиям<sup>144</sup>. Паули вспоминал об этом: «Я впервые публично излагал свою идею о нейтральных частицах, обладающих очень большой проникающей способностью. . . , но мне эта идея казалась все еще неопределенной, и я не опубликовал свою лекцию<sup>136</sup>». На следующий день Паули впервые сделал (как говорим мы, американцы) «Нью-Йорк таймс»: «Сегодня физическому миру был представлен новый обитатель ядра атома, когда Д-р В. Паули, приехавший из Технологического института Цюриха, Швейцария, постулировал существование частиц или структурных элементов, которые он окрестил «нейтронами»<sup>146</sup>».

Возвращаясь из Калифорнии, Паули остановился в Энн Арборе, где вместе с Зоммерфельдом, Крамерсом и Оппенгеймером он читал лекции в летней физической школе. Его тема была «Задачи,

1930 год. Тогда были известны лишь три фундаментальные частицы: электрон, фотон и протон, и лишь одна из них — фотон, была предсказана теоретически. Вигнер мне однажды сказал, что его первой реакцией на постулат Паули была мысль о том, что все это безумие, но смелое безумие.

Заметим далее, что упоминание Паули «неправильной статистики» относится к изобилующим в то время парадоксам относительно электронного спина, магнитных моментов и статистики. (Это подробно обсуждается в работе 141.) Следовательно, он надеялся, что его гипотеза будет общим средством от двух болезней. Ни он, ни кто-либо другой не могли даже предположить, что для двух этих болезней необходимы два разных средства: наш «нейтрон» и его нейтрино.

Из письма Клейну, написанном через неделю<sup>142</sup>, мы видим, что вначале Паули неправильно считал его «нейтрон» составной частью ядра: «Сейчас важно выяснить, какие силы воздействуют на «нейтрон», поскольку «нейтроны» не могут оставаться в ядре, если таких сил нет или они достаточно слабые». Этот вопрос прояснился лишь в 1934 году; смотри далее.

В декабре Паули завершил свою единственную другую работу 30-х годов по ядерным задачам, а именно, по сверхтонкой структуре спектра лития<sup>143</sup>. В мае 1931 года он уехал из Цюриха в свою первую поездку в США.

16 июня Паули выступал в Пасадене с докладом «Задачи сверхтонкой структуры» на симпозиуме по настоящему положению задачи о ядерной структуре. Симпозиум был организован Американским физическим обществом и Американской Ассоциацией по перспективным исследованиям<sup>144</sup>. Паули вспоминал об этом: «Я впервые публично излагал свою идею о нейтральных частицах, обладающих очень большой проникающей способностью. . . , но мне эта идея казалась все еще неопределенной, и я не опубликовал свою лекцию<sup>136</sup>». На следующий день Паули впервые сделал (как говорим мы, американцы) «Нью-Йорк таймс»: «Сегодня физическому миру был представлен новый обитатель ядра атома, когда Д-р В. Паули, приехавший из Технологического института Цюриха, Швейцария, постулировал существование частиц или структурных элементов, которые он окрестил «нейтронами»<sup>146</sup>».

Возвращаясь из Калифорнии, Паули остановился в Энн Арборе, где вместе с Зоммерфельдом, Крамерсом и Оппенгеймером он читал лекции в летней физической школе. Его тема была «Задачи,

Большая часть работ Паули, о которых мы говорили до сих пор, написана по квантовой физике, в частности, на тему частиц и полей. Мы еще продолжим разговор о его работах на эту тему, но сейчас пришло время отметить, что его влияние было более широким.

Я уже сказал, что единственная статья по физике твердого тела, написанная Паули, является первой в этой области<sup>100,101</sup>. Но его абсолютно не волновала эта тема. *«Ich mag diese Physik des festen Körpers nicht. . . zwar habe ich damit angefangen»* (Не нравится мне эта физика твердого тела. . . , хотя начал ее я)<sup>156</sup>. Те неразработанные предположения, к которым приходится часто прибегать в этой области, были несоизмеримы с его критериями. И все же его влияние было огромным. Ни твердое, ни какое-либо другое состояние материи не поддается теоретическому изучению без принципа Паули.

И еще по одному вопросу точка зрения Паули, по крайней мере, в течение нескольких лет, была негативной: уравнение Дирака, которое почти всеми рассматривалось как доказанное после открытия позитрона в 1932 году — всеми, но не Паули. Паули особенно не нравилось представление Дирака о позитроне как о дырке в бесконечном море отрицательно заряженных электронов<sup>157</sup>. В 1933 году он писал Дираку: «Я не верю в Ваше понимание «дырок», даже когда подтверждено существование антиэлектрона»<sup>158</sup>. Эта теория была основной темой переписки между Паули и Гейзенбергом в 1934 году. В этом году они писали друг другу гораздо чаще, чем во все остальные. 28 писем было написано Паули Гейзенбергу и 18 написал Гейзенберг. Пример из письма Паули (1934 год): «Я не переношу теорию дырок»<sup>159</sup>. Отношение Гейзенберга к этой теории тоже было отрицательным: «Мы знаем, что все неверно»<sup>160</sup>. У него, тем не менее, хватило смелости провести подробное исследование разных следствий теории Дирака, которая, как мы увидим дальше, оставалась в достаточно неопределенном состоянии вплоть до конца 1940-х годов.

Академический 1935–36 год Паули провел в Принстонском Институте. Там он провел серию семинаров, большей частью посвященных теории Дирака. Он говорил там: «На стороне Дирака скорее успех, чем логика»<sup>161</sup>. Будучи в Принстоне, Паули совместно с Морисом Роузом опубликовал свою единственную раннюю работу по теории Дирака на тему поляризации вакуума<sup>162</sup>.

На одном из семинаров Паули представил то, что он с гордостью назвал «теорией анти-Дирака». Первые наброски этой теории мы находим, как обычно, в письме Паули Гейзенбергу:

Я наткнулся на нечто любопытное... Применение нашего старого формализма квантования поля к [скалярной] теории ведет, *без всяких дополнительных гипотез* (без всякой идеи «дырок», без *Limes Akrobatik\**, без физики вычитания!) к существованию позитронов и к процессам образования электрон-позитронных пар... После квантования поля заряд автоматически становится положительным!... И я доволен, потому что вновь могу сказать что-нибудь противное по поводу моего старого противника, теории Дирака. (*Es hat mich gefreuet dass ich meiner alten Feuendin... wieder eins anhängen könnte*)<sup>163</sup>.

Здесь Паули ссылается на то, что мы сейчас называем теорией Паули–Вайскопфа<sup>164</sup>, — на квантовую теорию поля заряженных бесспиновых частиц. В только что процитированном письме Паули дальше пишет: «Эта теория... формально являющаяся такой удовлетворительной... имеет мало общего с реальностью». Вскоре после открытия мезонов стало ясно, тем не менее, что у этой теории светлое и долгое будущее.

Кратко перечислю другие темы, над которыми в 1930-е годы работал Паули: математические детали, касающиеся уравнения Дирака<sup>164</sup>, вклад в единую теорию поля<sup>165</sup>, вклад в квантовую теорию магнетизма<sup>166</sup>. В 1937 году он вернулся к проблемам квантовой статистической механики, которая интересовала его ранее. В 1927 году он первым рассматривал газы Бозе и Ферми с помощью большого канонического ансамбля Гиббса<sup>100</sup>. В 1928 году он первым в рамках квантовой теории начал обсуждение вопроса, как система достигает теплового равновесия<sup>117</sup>. И, кроме того, вместе с Фирцем, проанализировал *H*-теорему с квантово-механической точки зрения<sup>167</sup>.

В 1938 году Паули и Фирц начали изучать инфракрасную катастрофу<sup>168</sup>. Проблема состоит в том, что сечение электрон-электронного рассеяния становится бесконечно большим, если относительная энергия частиц стремится к нулю. Трудность устраняется, если отметить, что невозможно создать экспериментальные условия, гарантирующие, что в процессе рассеяния совсем не будет излучения очень медленных фотонов.

В 1940 году Паули начал свое исследование<sup>169</sup> квантовой теории поля для частиц с произвольным спином. Он продолжил его в Принстоне, куда надолго приехал из Европы.

## Военные годы в Принстоне

В 1938 году Паули стал гражданином Германии вследствие присоединения Австрии к Германии. Официально он оставался им на

\*Жонглирование пределами (нем.). — *Итим. перев.*

протяжении всей Второй мировой войны<sup>170</sup>. Он так прокомментировал это положение: «Я не могу считать себя прикрепленным к какой-то одной стране (это противоречило бы курсу всей моей жизни). Но я чувствую себя европейцем»<sup>170</sup>.

Когда возросла угроза войны, Паули написал Джону фон Нейману, попросив того перевести свои ограниченные средства на счет в Америке на совместный счет Паули–фон Неймана, чтобы защитить себя в случае «возможных мер против граждан Германии»<sup>171</sup>. Но за три дня до начала войны Паули написал одному из коллег: «Лично я не верю в то, что будет война»<sup>172</sup>.

После начала войны положение Паули в Цюрихе стало в высшей степени ненадежным. Для него было облегчением получить в мае 1940 года приглашение на два года в Принстонский Институт в качестве приглашенного профессора. Позднее оно было продлено еще на два года за счет стипендии от Рокфеллеровского фонда, составляющей 4 000 долларов в год, что после вычета налогов составляло 2 950 долларов<sup>173</sup>. Преодолев некоторые сложности Паули с женой выехали из Швейцарии 31 июля 1940 года, совершили трудный переезд в Лиссабон, где сели на корабль, отправляющийся в Америку. 24 августа они прибыли в Нью-Йорк, где их встретил фон Нейман и отвез на машине в Принстон.

Паули быстро привык к новому окружению. Что характерно, он сразу же занялся своими физическими исследованиями<sup>175</sup>. «Мне здесь очень нравится. Вновь гости из разных мест, конгрессы, приглашения. . . Очень неплохое и не слишком дорогое калифорнийское вино заменяет мне кьянти<sup>176</sup>». Паули, правда, очень скучал по своей собаке Дикси, которая составляла ему компанию дома в Швейцарии, когда он работал в своем кабинете<sup>176</sup>. (В Принстоне он приобрел себе черного пуделя по кличке Бесси.)

В ноябре Паули посетил собрание Американского физического общества в Чикаго (22–23 ноября), где он «замечательно провел время»<sup>177</sup>. Через месяц он отправился на подобную встречу в Филадельфию, где был избран членом этого научного общества<sup>178</sup>. В 1941 году он участвовал в заседаниях общества в Вашингтоне (1–3 мая), о котором он отзывался, что там было «очень интересно», в Чикаго (21–22 ноября) и в Принстоне (29–31 декабря), где выступил с лекцией о квантовой теории поля<sup>180</sup>. Летом 1941 года он читал лекции в летней школе в Энн Арборе (8 июня–8 августа). Он встретился там с Юлианом Швингером. Затем на новой машине они с женой отправились в Калифорнию — в Беркли и Стэнфорд\*. Все это свидетельствует о том, как быстро Паули освоился

\* В Беркли находится часть Калифорнийского университета, а высокопрестижный Стэнфордский университет известен своими гуманитарными и физико-математическими исследованиями. — *Прим. перев.*



на американской сцене физики. В ноябре 1940 года он говорил: «В Принстоне у меня больше времени, чем где бы то ни было раньше»<sup>177</sup>, что показывает, как хорошо он там себя чувствовал.

Я расскажу о научных трудах Паули во время войны. Его первая работа этого периода<sup>181</sup> является одной из его лучших работ, и, несомненно, лучшей работой военного периода. Она посвящена соотношению между спином и квантовой статистикой. Эта тема интересовала Паули со времени написания работы совместно с Вайскопфом в 1934 году. В том году он писал Гейзенбергу: «Невозможно квантовать скалярное волновое уравнение по законам принципа запрета [это по статистике Ферми–Дирака] так, чтобы одновременно: (1) сохранялась релятивистская и калибровочная инвариантность; (2) собственные значения энергии были положительными, в то время как оба требования были бы удовлетворены, если квантовать по статистике Бозе»<sup>182</sup>. В 1936 году он отмечал, что в более общем случае принцип запрета исключен для любого целого спина<sup>183</sup>. Работа Фирца<sup>184</sup> по полям со спином, больше единицы, — это еще один важный шаг вперед. Из всех этих предварительных работ вскоре родилась теорема соотношения между спином и статистикой, которая, в свободной формулировке, звучит так: поля частиц с полужелым (целым) спином могут квантоваться соответственно лишь по статистике Ферми–Дирака (Бозе–Эйнштейна). Теорема все больше и больше освобождалась от лишних предположений и в 1958 году была сформулирована в наиболее общем виде<sup>185</sup>: если теория поля удовлетворяет условиям: (1) инвариантность относительно собственных (без пространственных отражений) ортохронных (без обращения времени) неоднородных (включающих трансляции в пространстве-времени) преобразований Лоренца; (2) отсутствуют состояния с отрицательной энергией; (3) метрика в гильбертовом пространстве положительно определенная; (4) поля, разделенные пространственноподобными интервалами либо коммутируют, либо антикоммутируют, тогда ни одно поле не будет иметь «неправильной» связи между спином и статистикой; и это истинно для любого спина.

Следует отметить, что указанные условия достаточны и для доказательства *CPT*-теоремы, которая утверждает, что при тех же условиях квантовая теория поля инвариантна относительно комбинированной *CPT*-симметрии: правое ↔ левое (P); частица ↔ античастица (C); прошлое ↔ будущее (T) *должна* сохраняться. И вновь ключевая роль в развитии *CPT*-инвариантности принад-

лежит Паули<sup>186</sup>. Самое общее доказательство принадлежит Ресу Йосту<sup>187</sup>.

В 1941 году Паули опубликовал прекрасную обзорную статью<sup>188</sup> по релятивистским теориям поля элементарных частиц, которая еще широко читается и сегодня. В ней он впервые показывает взаимодействие, описывающее аномальный магнитный момент, сейчас известный как «член Паули». Эта статья предназначалась для Сольвеевской конференции, планируемой на 1939 год, которая не состоялась из-за войны.

Другие работы по квантовой теории поля, которые сейчас представляют лишь исторический интерес, — это комментарии Паули к предложениям других физиков относительно снятия трудностей (упомянутых выше), причиной которых являются расходимости, осаждающие теорию поля: его работа, в высшей степени критическая<sup>189</sup>, по поводу  $\lambda$ -ограничивающего процесса Вентцеля<sup>190</sup> и представлению фотонов с отрицательной энергией Дираком<sup>192</sup>.

---

В 1935 году Хидеки Юкава предположил, что ядерные силы связаны с полем, кванты которого сейчас называются мезонами. Сначала Паули крайне скептически отнесся к этой идее: он называл ее «юкозом»<sup>193</sup>. Так продолжалось до тех пор, пока Оппенгеймер «не подтолкнул меня в 1941 году в том направлении, которое было тогда абсолютно новым для меня (мезонная физика)<sup>194</sup>... Оппенгеймер стимулировал мой интерес в этой области в 1941 году, и я опубликовал (во время войны) ряд работ на эту тему без определенного решения какой бы то ни было задачи»<sup>195</sup>. Что касается его последнего замечания, то он был далеко не одинок в этом. В начале 40-х годов мезонная физика, как экспериментальная, так и теоретическая, пребывала в плачевном состоянии.

Когда Паули начал работу над мезонной теорией, он писал Оппенгеймеру: «Поэзия кончилась, началась физика»<sup>196</sup>. (В Принстоне он написал несколько стихов<sup>197</sup>.)

Все работы Паули по пионно-ядерным взаимодействиям были написаны между 1941 и 1945 годами. В них используется приближение сильных взаимодействий. Ни одна из работ не принесла Паули удовлетворения. Первая, по псевдоскалярному случаю, написанная вместе с Сидни Данкоффом<sup>198</sup>, дала неправильные результаты для магнитных моментов протона и нейтрона, что

---

\* По аналогии с «психозом». — *Прим. перев.*

«обеспокоило» Паули<sup>199</sup>. Следующая работа, совместно с Ширичи Кусака<sup>200</sup>, по смешанной псевдоскалярно-векторной теории, дала неправильный результат для магнитного момента дейтрона и вела к нестабильности ядра с большим зарядом. Последняя, написанная вместе с Нинг Ху<sup>201</sup>, по парной скалярно-векторной теории, дала неправильное нейтронно-протонное взаимодействие для дейтрона. Шесть вечерних лекций Паули по мезонной теории и ядерным силам, прочитанные в Массачусетском технологическом институте осенью 1944 года, были объединены в одну книгу и опубликованы<sup>202</sup>.

В конце войны Паули надоели мезоны. Как он писал в 1945 году: «Я слегка устал от мезонной теории»<sup>203</sup>.

---

Летом 1942 года Паули писал Вентцелю, что чисто научная деятельность во всем мире не так активна, как раньше (из-за войны), и это его «печалит»<sup>204</sup>. И все же в 1943 году он рассматривает возможность самому принять участие в военной работе. Оппенгеймер не советует ему это делать:

Вайскопф не так давно был здесь [в Лос-Аламосе] и говорил нам о Ваших сомнениях в вопросе о том, следует ли Вам заняться исследованиями, прямо связанными с Войной. Трудно дать ответ на этот вопрос, потому что он будет иметь лишь временную ценность, но у меня такое чувство, что сейчас это будет для Вас ошибкой и пустой потерей сил и времени. Вы сейчас являетесь едва ли не единственным физиком в этой стране, который способен помочь в сохранении научных принципов, напрямую не связанных с Войной, а это действительно необходимо и стоит делать... Таким образом, можно надеяться на то, что, когда Война закончится, в стране будет, по крайней мере, несколько человек, знающих, что такое мю-мезон<sup>205</sup>.

Письмо Паули Раби<sup>173</sup>, написанное через два месяца, объясняет, откуда у него появилась такая противоречащая его стилю идея. Ему сказали, что после того как истечет срок его стипендии от Рокфеллеровского фонда 1 июня 1944 года, возобновления стипендии не последует. Более того, в декабре 1942 года Эйделетт сказал ему искать работу, самое позднее, в июне 1944 года, поскольку Институт не обладает достаточными средствами, чтобы платить ему стипендию. Он предпринял несколько тщетных попыток найти работу где-то еще. Следовательно, *«лучшее решение, которое я вижу, это работать на оборону»*<sup>173</sup> (курсив Пайса). И все же он не стал этим заниматься. В 1945 году он писал Оппенгеймеру: «Ваш прежний совет оставаться в чистой науке был превосходен»<sup>206</sup>.

---

Последней научной деятельностью Паули в Принстонский период была подготовка юбилейного сборника для Бора на его шестидесятилетие (7 октября 1945 года). Он должен был появиться как выпуск *Обзорных статей по вопросам современной физики*. В конце 1944 года он извещал об этом многих своих коллег<sup>207</sup> и выразил просьбу принять участие в этом проекте. Он сам написал вводную статью<sup>208</sup>, а также опубликовал там свою совместную работу с Нинг Ху<sup>209</sup>.

После того как на Хиросиму и Нагасаки были сброшены атомные бомбы, Паули писал Клейну: «Я думаю, что наша профессия будет дискредитирована, если скоро это орудие убийства не будет взято под международный контроль»<sup>209</sup>.

---

После войны у Паули был выбор, где продолжать свою научную деятельность. Институт предложил ему профессорскую должность в качестве последователя Эйнштейна с ежегодным доходом 10 000 долларов — сумма, которая увеличилась до 15 000 после получения им Нобелевской премии. Такая честь, возможно, привела его к принятию американского гражданства 24 января 1946 года. Кроме того, он получил приглашения от Колумбийского университета и из Цюриха<sup>210</sup>. Когда в феврале 1946 года он поехал в Цюрих, он все еще склонялся к тому, чтобы принять американский вариант. Лишь в августе он принял окончательное решение остаться в Швейцарии. «Я был близок к тому, чтобы принять приглашение от Колумбийского университета»<sup>211</sup>. Его решение было «ужасно тяжелым»<sup>212</sup> для него самого.

Йост вспоминал:

В Америке легко заработать много денег, но трудно потратить их приятным образом, как сказал мне Паули, когда мы прогуливались вместе, и устремился вперед в предвкушении бокала красного вина и ломтика сыра там, куда мы направлялись... Суждения Паули были в высшей степени независимы и демонстрировали самоуверенность человека, который с детства привык к уважению, которое оказывалось ему со стороны окружающих. Он был уверен в себе, как повзрослевший вундеркинд<sup>213</sup>.

## Послевоенные работы

Еще в 1938 году Паули подал прошение о предоставлении ему швейцарского гражданства. Ему было отказано на том основании, что он недостаточно совершенствовал цюрихский диалект.

(Его отличный немецкий был, конечно, безупречен.) В 1940 году он вновь подал прошение, и вновь безрезультатно. На этот раз ему было отказано Федеральным Департаментом правосудия и полиции в Берне на основании недостаточной ассимиляции. Через несколько недель Паули уехал в Соединенные Штаты. . . <sup>214</sup>

Переписка между Паули и руководством Федерального технологического института во время Принстонского периода показывает, что было непонятно, будет ли он принят с распростертыми объятиями, если и когда вернется в Цюрих. Его отъезд в США некоторые из его коллег объясняли желанием продемонстрировать нелояльное отношение к Швейцарии, что, как утверждалось, ослабило его преподавательский авторитет. Паули возмущенно отреагировал, пригрозив подать иск против этого учреждения за едкую критическую оценку. Такая угроза политического действия вызвала сильный испуг у уважаемых швейцарских бюргеров, который усилился еще больше после того, как общественное положение Паули укрепились в связи с получением им Нобелевской премии.

Таким образом, обе стороны все в большей степени стремились к примирению. После возвращения Паули в Цюрих президент Институтского совета был поражен мягкостью и сдержанностью Паули. После недавней переписки он не ожидал такого отношения. Он нашел Паули готовым продолжать свою деятельность в ФТИ, тем более, что вопрос о его швейцарском гражданстве теперь мог быть решен в короткие сроки <sup>215</sup>.

Я не знаю точно, когда Паули получил швейцарское гражданство, но это было до 1949 года, потому что в этом году американский консул написал Паули, что его швейцарское гражданство автоматически аннулировало американское <sup>216</sup>.

Все это послужило причиной того, что отношение Паули к ФТИ изменилось. Несмотря на то, что он не любил бюрократию, он вскоре принимал активное участие в обсуждении управленческих проблем института. В 1950 году анонимным голосованием он был избран председателем отделения математической физики <sup>217</sup>.

К осени 1946 года Паули вновь обосновался в своем старом кабинете на третьем этаже здания физического факультета на Глориаштрассе и начал преподавать. Некоторые из его студентов заявляли, что за ходом его рассуждений следовать сложно, но что лекции его поучительны. Через несколько лет Паули жаловался на то, что у него слишком много докторантов <sup>218</sup>. Его ассистентами в те годы были Рес Йост, 1946–49, Макс Шафрот, 1949–53, Армин Теллунг, 1953–56, и Чарльз Энц, с 1956 до смерти Паули в 1958 году.

Некоторые из научных публикаций Паули с 1945 по 1958 годы, за последние 13 лет его жизни, я уже упоминал: это его Нобелевская лекция в 1946 году<sup>33</sup>, его работы по спину и статистике<sup>181</sup> и *CPT*-теореме<sup>186</sup>, его книга по ядерным силам<sup>202</sup>, его вклад в юбилейный сборник для Бора<sup>208</sup>. И хотя некоторые из этих работ имеют большое значение, ни одна не является настолько же плодотворной, как его предвоенные труды. То же самое я могу сказать и о других его публикациях после войны, к которым я сейчас обращаюсь.

В 1948 году Паули писал Оппенгеймеру: «Несмотря на то, что в 1941 году Вы подтолкнули меня к новому для меня направлению (пионная теория), Вы не толкаете меня *далее* в направлении, к которому я обратился недавно. . . , мы стоим у истоков нового развития в квантовой электродинамике»<sup>219</sup>. Здесь он ссылается на ренормализационную программу, гораздо более точный метод, родившийся после конференции на Шелтер Айленд (июнь 1947 год) и предназначенный для решения проблемы бесконечностей в квантовой электродинамике. Единственная публикация Паули<sup>220</sup> на эту тему была математическим проектом, известным теперь как регуляризация, для работы с этими бесконечностями. Это было развитием концепции, представленной мной несколькими годами ранее<sup>221</sup>. Другим его вкладом в программу являются критические статьи относительно работ других ученых<sup>222</sup>. Самым значительным вкладом является его объемное письмо<sup>223</sup> Швингеру, которого он называет «Его Величество» за плодотворный вклад в новый вариант квантовой электродинамики. Более значительными были работы молодого поколения физиков на эту тему, работавших под эгидой Паули в Цюрихе<sup>224</sup>. Другие работы Паули по квантовой теории поля рассматривают нелокальные теории поля<sup>225</sup>, модель Ли<sup>226</sup>, а две работы написаны на тему физики элементарных частиц<sup>227</sup>.

В этот период Паули впервые писал на исторические<sup>228</sup> и философские темы, в частности, по вопросу интерпретации квантовой механики<sup>229</sup>, который он обсуждал также в оживленной переписке с Бором. Я вернусь к другим аспектам его философских работ в последней главе, рассказывающей о его отношениях с Юнгом.

## Более личные воспоминания

В начале этого эссе я упоминал о первом письме Паули ко мне, написанном в 1945 году. Оно было посвящено моей работе по квантовой теории поля. Эта работа привлекла некоторое внима-

ние. Паули упомянул о ней в письме к Бору<sup>230</sup>. Раби писал Паули: «Кажется, Бор убежден в полезности идей Пайса»<sup>231</sup>. Я говорил также и о своей первой встрече с Паули, состоявшейся в Копенгагене в 1946 году.

В последующие годы я часто встречал Паули, в Принстоне и в Цюрихе, почти до самой его смерти в 1958 году. Мы поддерживали также стабильную переписку. Передо мной лежат восемь писем Паули<sup>232</sup>, написанных мне в период с 1947 по 1949 годы. В них он пишет о моих работах по квантовой теории поля, которые я отсылал ему. Некоторые из работ он одобрил, другие — нет. 19 августа, 1948 год: «Эта работа кажется мне полностью правильной, но неинтересной. Она принадлежит к так называемой «ну и что» физике. Постарайся сделать что-нибудь получше». Далее он пишет о своей собственной работе по квантовой электродинамике и завершает письмо так: «Если увидишь Оппенгеймера, пожалуйста, покажи ему это письмо, чтобы он мог добавить к нему свое «у-гу». Здесь речь идет об одной особенности Оппенгеймера, которой Паули успешно подражал. Он любил подражать подобным образом. Например, в 1931 году он писал Вентцелю о том, что «предпринял новую попытку изучить Пауля Эпштейна. Я готовлюсь дать спектакль Эпштейна в Цюрихе»<sup>233</sup>.

Еще в одном из писем (18 февраля 1949 года) Паули пишет о своем длинном письме Швингеру<sup>223</sup> и о его работе по регуляризации<sup>220</sup> (19 апреля и 26 мая 1949 года), которую он включил в юбилейный сборник для Эйнштейна, редактором которого был я.

Это очень теплые письма, начинающиеся с обращения «дорогой Пайс» или «мой дорогой . . .». 28 декабря 1949 года он добавил сноску к этому последнему обращению: «Ваши [менее] близкие друзья используют Ваш псевдоним «Брэм»». «Слово «пайс» обозначает «ребенок» на греческом. Это значение имени очень нравилось Паули, потому что в его снах появились дети»<sup>234</sup>. Вскоре после этого Паули в письмах ко мне стал пользоваться кодовым именем . . . Миссис Паули говорила, что это имя взято из «Пробуждения Финнегана» («*Finnegan's Wake*») («*The Mookse and the Gripes*»). Оно было дано Паули его другом математиком Карлом Людвигом Зигелем<sup>235</sup>.

---

Наша следующая встреча с Паули произошла в ноябре 1949 года, когда они с женой прибыли в Айдлуайлд (сейчас Международный аэропорт им. Джона Кеннеди), чтобы остаться в Институте на учебный год. Оппенгеймер попросил меня встретиться их

в аэропорту, предоставив в мое распоряжение старую институтскую машину-фургон с водителем. После теплых приветствий мы двинулись в путь. Я спросил у Паули, каковы его планы. Он ответил, что приехал в Америку выяснить, что происходит в физике и похудеть — его не впечатляла американская кухня.

В Принстоне мы часто встречались и стали друзьями. Я люблю вспоминать, как маленькой компанией, в которую входил и Паули, мы отправлялись в сад за Институтом, чтобы заготавливать дрова. Я все еще вижу Паули, стоящим в грубых ботинках, сером свитере и баскском берете с вагой в руках, держа ее так, словно это церковная утварь епископа. Я вижу, как он мягко раскачивается, наблюдая, как остальные валят дерево.

Мы много говорили о физике, часто совершали длительные прогулки и обедали вместе. В таких случаях его слова всегда сопровождалось характерным раскачиванием тела, описанным выше. Однажды за обедом он произнес одну из своих довольно смелых фраз, заставив меня рассмеяться и сказать: «Вы знаете, Паули, другого такого нет». Для него было характерно всерьез реагировать на банальную фразу, сопровождая свой ответ рассказываниями. Через какое-то время он сказал: «*Ja, es gibt mich nur einmal*», затем, после паузы, «*Und das ist vielleicht auch besser*» (Да, другого такого нет — и это, наверное, к лучшему). Однажды, когда мы гуляли, он остановился, посмотрел на небо, затем сказал: «*Die weltfremden Physiker — die Menschen würden sich staunen*» (Физики не от мира сего — люди бы удивились). Во время другой прогулки он сказал мне: «Я думаю, мы поладим, потому что вы думаете медленно, совсем как я».

В другой раз он заметил, что не может понять, почему я выбрал себе Америку в качестве постоянного места жительства, поскольку он считает, что я европеец как по внешности, так и по образу мышления. На что я честно ответил, что да, я сильно привязан к Европе, но сейчас уже не менее сильно привязан и к Америке, и что я учусь гармонично сочетать отношения, которые на первый взгляд выглядят противоречивыми. Это привело к интересному разговору об отличии культур.

Так что наши беседы никоим образом не были ограничены темой физики. Другой частой темой наших бесед был психоанализ. Я выяснил, что Паули является знатоком Юнга. Меня же, напротив, очень увлекал Фрейд, и я был настроен против учения Юнга. В результате между мной и Паули возникали горячие дебаты, но спорили мы вполне цивилизованно.

Паули никогда не говорил со мной о своих отношениях с Юнгом, не упоминал он и о первом браке. Но время от времени он говорил на очень личные темы. Например, он несколько раз упо-



минал о романе с одной из своих юных студенток. Должно быть, в одной из таких бесед он сказал мне одну фразу, которую я до сих пор помню: «Когда я был молод, я думал, что физика — это легко, а отношения с женщинами — это сложно. Теперь все наоборот». Это напоминает мне трогательные строки из одного письма Паули, которое было адресовано мне: «Что-то не ладится в моих отношениях с женщинами, и, наверное, по-другому уже не будет. Я должен примириться с этим, что не всегда бывает легко сделать. Я немного побаиваюсь, что с возрастом это ощущение изолированности будет усиливаться. Эти вечные разговоры с самим собой так выматывают»<sup>233</sup>.

Незадолго до того как Паули вернулся в Европу, я пригласил его с женой и Нильса Бора с женой к себе на кофе и десерт. Передо мной письмо Франки (я всегда называл ее Миссис Паули), мы переписывались время от времени после смерти Паули (на немецком). Письмо датировано 9 ноября 1976 года, и в нем она вспоминает тот вечер: «Я вспоминаю незабываемый вечер, который мы — Нильс Бор, Маргарет, Вы, Вольфганг и я — провели в Принстоне. Тогда Нильс до рассвета говорил о дополнительнойности. Вы тоже были взволнованы и сказали: «Просто как Иисус со своими учениками»». Свое последнее письмо, которое миссис Паули написала мне перед смертью, заканчивается такими словами: «В какой-то из трех последних дней его жизни, когда он был в больнице, его навестил один старый знакомый. Он спросил Паули, есть ли такой человек, с которым бы ему хотелось поговорить, и Паули ответил: «Нильс Бор».

Когда временное пребывание Паули в Принстоне подходило к концу, он пригласил меня<sup>234</sup> на лето к ним в Швейцарию. Я был рад принять это приглашение. Паули сообщил об этом Бору<sup>236</sup>. Так и получилось, что в следующем июле я поехал в Швейцарию. Я прилетел в Цюрих, Паули приехал встретить меня. Мы взяли такси и поехали к нему домой, где мне и предстояло пожить какое-то время.

Почти каждый день мы с Паули отправлялись в институт физики. Я прочитал там лекцию по нуклон-нуклонному рассеянию<sup>237</sup>. Вечера я проводил с Паули и Франкой у них дома. Я встречал Франку и раньше, но сейчас я узнал ее гораздо лучше и мог понаблюдать, как она справлялась с характером Паули, не самым легким, надо сказать. В ее отношении чувствовалась любовь и нежность, но она могла твердо настоять на своем. Маргарет Бор однажды рассказала мне такую историю. Когда Паули приходил домой пообедать, он обычно задавал Франке вопрос о том, что нового произошло. (Он сам никогда не читал газет.) Она обычно была готова рассказать ему о новостях, но однажды рассказывать

было нечего. Когда она сказала об этом Паули, он ответил: «*Nah ja, man kann sich auch langweilen*» (Ну и ладно, можно и поскучать).

Когда я гостил у Паули, он дал мне почитать роман Анри Ален-Фурнье *Большой Мольн*, который ему очень нравился. Мне, кстати, тоже понравился этот роман. Когда пришло время уезжать, Паули сделал мне подарок. Это был седьмой том *Psychologische Abhandlungen* Юнга, который только что был издан<sup>238</sup>. Паули сделал на книге надпись: «*Seinem jüngeren Freund Pais als Gegenwicht gegen Freud, zur Erinnerung an dem Sommer 1950 in Zürich*» (молодому другу Пайсу в противовес Фрейдю и в память о лете 1950 года в Цюрихе). Меня взволновал этот дружеский жест. Эта книга до сих пор занимает свое место на моих книжных полках в Нью-Йорке.

---

Наша переписка продолжилась после моего возвращения. В августе 1950 года Паули подробно написал мне о его взглядах на Юнга<sup>239</sup> (я вернусь к этому) и на политику, цитируя Шопенгауэра: «Каждая нация критикует любую другую, и *все* они правы». В 1951 году он написал мне с Сицилии, где он прочитал Платона<sup>240</sup>. В августе того года: «Единственной новостью из США является новость о том, что Вы в хорошем расположении духа. Что касается слухов из Европы, то здесь говорят лишь о том, почему Вы не приехали сюда этим летом»<sup>241</sup>. В апреле 1952 года он пишет о смерти Крамерса<sup>242</sup>. «Так заканчивается долгая дружба, начавшаяся в Копенгагене (1922 год) с регулярно повторявшейся просьбы: «Паули, зайти за молоком по пути». . . Теперь для нас обоих это в прошлом. Сейчас мы вновь обращаемся к будущему. В любом случае, я рад, что среди моих близких знакомых есть молодые люди, такие как Вы». Через месяц: «До встречи в Копенгагене»<sup>243</sup>. Еще через несколько недель: «Я очень жду встречи с Вами в Копенгагене, чтобы мы *не* могли обсуждать Ваши недавние работы по мезонам»<sup>244</sup>. Когда я вспоминаю об этой встрече, мне вспоминаются наши с Паули оживленные дискуссии во время прогулок по старому Копенгагену. Паули тогда принимал участие в обсуждениях<sup>245</sup> на конференции, но сам не выступал.

---

Я вновь встретился с Паули в июне 1953 года, на этот раз в Лейдене, где состоялась конференция, посвященная столетию со дня

рождения двух великих голландских физиков: Хендрика Лоренца и Хайке Камерлингга Оннеса. Меня пригласили там выступить, и темой своего выступления я выбрал свою недавнюю работу, рассматривающую мое предложение<sup>246</sup>. Я предложил ввести новое квантовое число, чтобы объяснить поведение странных частиц, а именно, сделать это путем увеличения давно известной изоспиновой группы  $SU(2)$  для нестранных частиц до большей группы — распространенный с тех пор прием в физике элементарных частиц. Я, конечно, был доволен комментарием Гейзенберга: «Я думаю, что попытка Пайса является самой эффективной»<sup>248</sup>, и Паули: «Мне очень импонирует общий принцип привести эмпирические законы сохранения и инвариантные свойства к связи с математическими группами преобразований законов природы»<sup>249</sup>.

На этой встрече Паули поднял и технический вопрос относительно моей работы: «Мне бы хотелось задать вопрос. . . , а нельзя ли, подобно калибровочной группе электромагнитного поля, расширить группу преобразований с постоянными фазами таким образом, что мезон-нуклонное взаимодействие будет связано с этой расширенной группой»<sup>249</sup>. Так я впервые услышал об идее, из которой вырос новый фундаментальный раздел теоретической физики: неабелевы калибровочные теории. Как и большинство моих современников, в то время я не подозревал о связанной с этим работе Клейна<sup>250</sup>, которая, однако, была скрыта его замечаниями по поводу теории Калуцы–Клейна<sup>251</sup>.

Паули продолжал размышлять над своим вопросом. Сразу после конференции в Лейдене он написал мне<sup>252</sup> о возможном ответе с точки зрения того, что он называл *геометризацией* мезон-нуклонных сил, следуя моей идее о том, что «элемент пространства-времени — это не точка, а многообразие» (которое я назвал  $W$ -пространство)<sup>247</sup>. Я тогда еще не осознавал, что говорю о самом тривиальном расслоении. Паули же предложил провести аналогию с электромагнитными калибровочными преобразованиями, где проводится различие между (а) глобальной калибровочной инвариантностью относительно постоянных в пространстве-времени преобразований, что соответствует моему тривиальному расслоению, и (б) локальной калибровочной инвариантностью относительно зависящих от координат и времени преобразований фазы. *Что-то вроде этого, конечно же, было у меня в мыслях* (курсив Паули), когда я высказывал свое замечание<sup>249</sup> в дискуссии после лекции Пайса»<sup>252</sup>. Письма к Клейну и Фирцу<sup>253</sup> показывают, как сильно захватила его эта идея<sup>254</sup>.

25 июля Паули послал мне рукопись<sup>254</sup>, озаглавленную «Пион-нуклонные взаимодействия и дифференциальная геометрия». Эта

рукопись начинается так: «Записано 21–25 июля, чтобы потом посмотреть, как это выглядит». На этих страницах он вводит изотриплет потенциалов калибровочного поля и находит в качестве «основного результата» правильное выражение для соответствующих напряженностей полей, которые сегодня мы называем неабелевыми калибровочными полями. Но он не записал соответствующих уравнений динамики полей.

В своем письме на эту тему Паули пишет<sup>254</sup>: «Я пишу все это для того, чтобы повести Вас дальше в *Neuland* (новую страну). Я думаю, у Вас есть хороший шанс продвинуться дальше, в то время как мы, старики, отказались от решения этой задачи». Переписка с Клейном<sup>1255</sup> и Оппенгеймером<sup>256</sup> показывает, что моя работа захватывала его и позже. В ноябре 1953 года он провел два семинара на эту тему, которые посетил Клейн<sup>257</sup>.

В конце 1953 года его энтузиазм по этому поводу стал угасать. «Когда пытаешься сформулировать уравнения поля. . . , всегда получаешь *векторные мезоны с нулевой массой покоя* (курсив Паули). Можно попытаться получить другие мезонные поля — псевдоскалярные, с положительной массой покоя. . . Но я думаю, что это слишком искусственно»<sup>258</sup>.

Мои завершающие комментарии на эту тему возвращают меня к весеннему семестру 1954 года, когда в Институте перспективных исследований проходили два значительных семинара. Один семинар, 23 февраля, проводил Чженьин («Франк») Янг, блестящий молодой китайский физик, получивший в 1949 году членство в Институте на пять лет. (В 1955 году он был повышен в должности и стал профессором.) На этом семинаре Франк впервые докладывал о своей совместной работе с Робертом Миллсом по неабелевым калибровочным полям, которые позже стали известны как «поля Янга–Миллса». Они опубликовали свою работу в двух коротких прекрасных статьях<sup>259</sup>, основав современную калибровочную теорию.

На две недели раньше, 10 февраля, на эту тему провел семинар Паули, который вернулся в Институт на этот семестр! Эта его работа не получила известности, потому что он никогда ее не публиковал. Но заметки по его двум лекциям на эту тему, прочитанным в ноябре 1953 года, позже появились в печати<sup>260</sup>.

Янга не было на семинаре Паули. Он позднее вспоминал:

Оппенгеймер пригласил меня вернуться в Принстон *на несколько дней в конце февраля* (курсив Пайса), чтобы провести семинар по нашей работе. . . Вскоре после того как начался семинар, Паули спросил: «Какова масса этого поля?» Я сказал, что мы не знаем. Я продолжил представление своей работы, но вскоре Паули вновь задал тот же вопрос. Я ответил что-то вроде того, что это слишком

сложная задача и что мы над ней работаем, но еще не пришли к определенному выводу. Я до сих пор помню его ответ на это: «Это не является достаточно уважительной причиной». Я был неприятно поражен, так сильно, что после минутных колебаний решил сесть. Было общее смущение. Наконец Оппенгеймер сказал: «Нам следует позволить Франку продолжить». Я продолжил семинар, и Паули больше не задавал вопросов.

Я не помню, что произошло в конце семинара, но на следующий день я нашел записку следующего содержания:

24 февраля

Дорогой Янг,

Я сожалею, что Вы сделали практически невозможным наш разговор после семинара.

С наилучшими пожеланиями,

Искренне Ваш,  
В. Паули<sup>261</sup>.

Я тоже присутствовал на семинаре Янга и хорошо помню критическую и негативную реакцию Паули. Он был не единственным, кто реагировал подобным образом. Действительно, теория Янга–Миллса была поначалу встречена, мягко говоря, со скептицизмом. Причина была в том, что кванты нового поля имели, казалось, нулевую массу, *о чем писал мне в декабре 1953 года Паули*<sup>258</sup>. В своей первой работе на эту тему<sup>259</sup>, которая для того времени была дерзкой выходкой, Янг и Миллс просто заявили, что у них «нет удовлетворительного ответа» на этот вопрос.

Эта возникающая проблема с нулевой массой заставила забыть об этой теории почти на 20 лет, когда эта задача, наконец, была решена. И с того момента поля Янга–Миллса стали играть решающую роль при описании как слабых, так и сильных взаимодействий. Это открытие было таким же значительным, как максвелловские уравнения XIX века для электромагнетизма.

Что касается Паули, дерзкие выходки никогда не были его сильной чертой. Если бы в 1953 году у него была смелость опубликовать свою работу, его бы запомнили в связи с самым важным послевоенным вкладом в физику, как одного из основателей современной калибровочной теории. . .

## Паули и Юнг

Философия интересовала Паули с ранних лет, и он был очень начитанным в этой области человеком. Например, в возрасте 22 лет

он написал философу о своих взглядах на позитивизм<sup>262</sup>. Некоторые из его ранних работ затрагивают философские вопросы, например, его работа 1936 года по пространству, времени и причинности в современной физике. Эту статью можно найти не только в его сборнике научных статей, но и в очень хорошем сборнике его работ по физике, связанных с философией и переведенных на английский язык<sup>264</sup>.

Работа, о которой мы только что упомянули, ближе к физике, чем к философии. То же самое можно сказать и о более поздних работах Паули, которые, тем не менее, совершенно справедливо рассматриваются как имеющие отношение и к философии. Например, его работы по «Материи»<sup>265</sup>, по историческому развитию понятий пространства и времени<sup>266</sup>, по дополнительности<sup>267</sup>, относительности<sup>268</sup> и вероятности<sup>269</sup> в физике.

Но ни одна из его работ не затрагивает того, что Паули назвал «моей большой духовной трансформацией в последние годы»<sup>270</sup> и о которой он сказал: «Чтобы дать философам точку опоры, сразу скажу, что я не являюсь приверженцем никакого определенного философского направления с названием, заканчивающимся на «-изм». Более того, я не склонен связывать определенные «-измы» с конкретными физическими теориями»<sup>271</sup>, и еще: «Что касается моего собственного философского образования, то оно представляет собой смесь Шопенгауэра, Лао-цзы и Нильса Бора»<sup>272</sup>.

Существуют две основных составляющих духовной трансформации Паули.

Первая — его размышления над понятием о дополнительности Бора. Его переписка с Бором<sup>273</sup> дает нам мимолетное впечатление глубины понимания Паули идей Бора, которое было, возможно, глубже, чем понимание любого другого физика. Его несогласие с Бором заключалось лишь в деталях формулировки, что нас здесь не касается.

Вторая составляющая духовного преобразования Паули — его общение с Карлом Юнгом, включающее широкое и подробное обсуждение психологического аспекта формирования понятия в естественных науках и их архетипах»<sup>274</sup>.

Будучи старше на 25 лет, Юнг был, несомненно, тем человеком, не занимающимся физикой, который оказал на Паули огромное влияние. Для Юнга, в свою очередь, это общение также было очень плодотворным: «Благодаря тому великодушному интересу, который профессор Паули выказывает к моим исследованиям, я нахожусь в выгодном положении, позволяющем мне вести разговор с квалифицированным физиком, который ценит мои психологические доводы»<sup>275</sup>.

Я уже упоминал о Юнге в этом эссе. Сейчас я должен по-

дробнее остановиться на общении Паули с Юнгом. Оно началось в 1932 году в результате психоанализа, проведенного с Паули одним из ассистентов Юнга.

---

Сам Юнг никогда не лечил Паули. Но он подробно исследовал сны Паули, которые тот описывал в письмах Юнгу. Юнг широко использовал этот материал. К 1936 году он опубликовал 59 снов Паули, естественно, без указания на личность того, кому они принадлежали:

Мой материал состоит из более чем 1 000 снов и визуальных представлений одаренного в научном смысле молодого человека. . . Его вниманию и педантичности мы обязаны своей возможностью шаг за шагом проследить работу его подсознания. . . Невозможно было включить те сны, которые отражают интимные детали его личной жизни. . . Эти сны не подлежат публикации. . . Мне особенно приятно поблагодарить «автора» за его вклад в знание<sup>276</sup>.

Этот материал очаровывал Юнга, главным образом, использованием Паули того, что Юнг представлял как символизм мандалы. (Мандала — на санскрите означает круг, или магический круг.) Я не могу вдаваться в детали не только из-за недостатка места в данном эссе, но, главным образом, потому что мне не хватает знания по этому вопросу. Но я чувствую себя обязанным включить краткий комментарий по этому аспекту личности Паули, поскольку без него мой рассказ будет, увы, не завершен.

Источником информации по этому вопросу является также и опубликованное собрание из 80 писем, которыми Паули, Юнг и его сотрудники обменивались с 1932 до октября 1958 года, Паули умер 15 декабря 1958 года. Автором публикации является друг Паули Карл Альфред Мейер<sup>270</sup>. Из писем мы узнаем, что вплоть до 1957 года Паули посылал Юнгу описания своих снов<sup>277</sup>. Кроме того, в четвертом томе первой части опубликованной переписки Паули можно прочитать 114 писем, которыми обменивались Паули и группа Юнга.

Я должен отметить, что весь этот материал стал доступен мне лишь после смерти Паули. Во время наших частых разговоров о его отношениях с Юнгом я никогда не считал для себя возможным обсуждать с ним его сны. Но у меня есть письмо Паули<sup>278</sup>, в котором он выражает свое мнение о Юнге:

Я рассматриваю его идею о коллективном бессознательном как в общем правильную, а его интерпретацию мандал как существенно верную. Конечно же, не потому, что это сказал великий Юнг (я, в конце

концов, не женщина [!], а вера в авторитеты вовсе не была моей колыбельной), а потому что идея сама по себе кажется мне вероятной... Но нельзя отрицать, что в кругу Юнга существует необычайно сильный инбридинг, результат полного отсутствия творчества и таланта среди его близких друзей... В деталях я не согласен по многим пунктам... Я не хочу иметь ничего общего с гороскопами... и с его теологией<sup>279</sup>.

Что касается содержания снов Паули, то я ограничусь упоминанием лишь одной темы, его навязчивой идеи<sup>280</sup> по поводу чисел 3 и 4, которые имели для него мистико-символическое значение. Он писал об этом: «Мой путь к принципу запрета лежал через трудный переход от 3 к 4 с необходимым приданием электрону *четвертой* степени свободы [спин] в добавление к *трем* для перемещений [курсив Паули]»<sup>281</sup>.

Более важной (я думаю), чем сны, является поглощенность Паули идеями Юнга о глубоких связях между физическими и психологическими явлениями. *«Я лично считаю, что в науке будущего реальность уже не будет «психической» или «физической», а той и другой, или не той и не другой»*<sup>278</sup> (курсив Пайса).

Это приводит нас к центральной идее Паули по поводу психологии. Идя дальше Юнга, он предположил, что связь между сознательным и бессознательным удовлетворяет принципу дополнителности в том смысле, в каком использовал это понятие Бор. Паули надеялся, что таким образом единая картина мира, существовавшая в XVII веке и расколовшаяся с тех пор на две ветви — рациональную и мистико-религиозную будет восстановлена через преодоление их антитезисов. Он видел «соответствия между психологическими и квантово-механическими понятиями»<sup>281</sup>, называл бессознательное «секретной лабораторией»<sup>282</sup> и так характеризовал связь между мистицизмом и рационализмом: «По моему мнению, это узкий путь к истине, который пролегает между Сциллой голубого тумана мистицизма и Харибдой стерильного рационализма. Этот путь всегда будет полон ловушек, и можно погрузиться в бездну, сбившись с пути в обоих направлениях»<sup>283</sup>. Он рассматривает процесс понимания природы и то чувство счастья, которое человек испытывает, осознав что-то новое, как «совпадение предсуществующих внутренних образов... с внешними объектами»<sup>284</sup>.

Паули опубликовал свои философские работы лишь после Второй мировой войны. В своей работе, посвященной восьмидесятилетию Юнга, он писал:

Поскольку бессознательное неизмеримо в количественном отношении, а следовательно, не поддается математическому описанию, и поскольку каждое продвижение бессознательного («его введение



в сознание») должно быть реакцией, вносящей изменения в бессознательное, то мы можем ожидать появления «проблемы наблюдения» относительно бессознательного, которая, хотя и представляет собой аналогию с такой же проблемой в атомной физике, предполагает, тем не менее, наличие гораздо больших трудностей... Я думаю, что дальнейшее развитие идей бессознательного не будет ограничено лишь их терапевтическим применением, но будет определяться их ассимиляцией основным потоком естественной науки в применении к явлениям жизни<sup>285</sup>.

Самым значительным вкладом Паули в психологию является его большая работа, посвященная трудам Иоганна Кеплера<sup>274</sup>. К Кеплеру Паули привел огромный интерес к изучению контрастов между мистицизмом и рационализмом. А работа Кеплера отмечает начало раскола на эти два образа мышления. С одной стороны, три закона планетарного движения Кеплера сделали его основателем современной астрономии, а с другой, он верил, что гармония небес берет свое начало в чувствующей душе, оживляющей Солнце и делающей его контролером Солнечной системы, а также в то, что наша Земля — это живое существо, обладающее душой, *anima terrae*. Результатом изучения этих работ явилась статья Паули<sup>286</sup> о влиянии Кеплера на архетипные представления в формировании физических теорий. (Термин «архетип», обозначающий первичный образ и используемый Кеплером, использовался еще, по меньшей мере, Цицероном.)

Поскольку Паули был очарован числами 3 и 4, о чем уже говорилось ранее, его работа о Кеплере подробно трактует спор последнего с его современником, мистическим философом Робертом Фладдом. В то время как Кеплер считает магическим число 3, он связывает, например, христианскую Троицу с трехмерностью пространства, для Фладда божественным является число 4. Он видел проявление этой божественности в тетраграмме имени Бога (Яхве на языке древних евреев пишется четырьмя согласными), в четырех временах года, в четырех составляющих геометрии (точка — линия — поверхность — тело) и четырех составляющих природы (субстанция — качество — количество — движение). Паули был на стороне Кеплера, хотя испытывал определенную симпатию и к идеям Фладда. Его работа<sup>274</sup> о Кеплере отражает аспекты личности и образованности Кеплера (Кеплер подробно цитировал Плотина), которые известны лишь немногим физикам.

Я присутствовал на лекции Паули о Кеплере, которую он читал в марте 1950 года в принстонском доме своего друга Эрика Калера. Единственное, что я помню об этом событии, — это присутствие там Эйнштейна, который заснул под аккомпанемент слов Паули.

## Последние годы

Я продолжал общаться с Паули в последние годы его жизни, особенно интенсивно наше общение проходило в 1953 году. Мы также часто виделись во время двух его последних приездов в Принстонский Институт, весной 1954 и 1956 годов. Наша продолжительная переписка включает мое письмо Паули по поводу обращения времени<sup>287</sup>; это единственное мое письмо к нему, которое сохранилось. Что касается его писем в мой адрес<sup>288</sup>, то их темой было сильное взаимодействие. Эта тема увлекала Паули в военные годы.

В течение этих лет он много путешествовал. Зимой 1952–1953 годов он ездил в Индию, где читал лекции в Тага-институте в Бомбее. Исполнилось его желание поближе познакомиться с культурой Индии.

Работы этого последнего периода Паули включают статьи по квантовой теории поля, о которых я уже упоминал ранее<sup>289</sup>, одна статья по версии квантовой механики со скрытыми переменными, по которой его точка зрения была туманной<sup>290</sup>, статьи по философским вопросам, о которых также уже говорилось, и несколько статей по историческим вопросам<sup>228</sup>, включающим наиболее значительные статьи по истории нейтрино (1957 год)<sup>291</sup> и нарушению четности (1958 год)<sup>292</sup>.

---

Паули жил достаточно долго, чтобы увидеть экспериментальную проверку его гипотезы о нейтрино. Ему сообщили об этом телеграммой из Лос-Аламоса 14 июня 1956 года. Телеграмму отправили Фредерик Рейнес и Клайд Кован. В ней говорилось: «Мы рады сообщить Вам, что мы определенно выявили частицы нейтрино из осколков деления, наблюдая обратный бета-распад протонов. Наблюдаемое сечение хорошо согласуется с ожидаемым значением<sup>293</sup>  $6 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$ ».

Через неделю после того как была отправлена телеграмма, Тзундао Ли и Франк Янг представили в *Physical Review*<sup>294</sup> свою работу, в которой отмечали, что сохранение четности никогда не проверялось в бета-распаде и предлагали эксперименты для проведения такой проверки. Паули отреагировал на это так: «Я готов заключить пари, что результаты эксперимента будут в пользу зеркальной инвариантности [сохранения четности], поскольку — несмотря на Ли и Янга — я не верю в то, что Бог — «слабый левша»<sup>295</sup>».

В самом конце 1956 года оказалось, что убеждение Паули была неправильным. Через несколько недель после этого он писал в письме:

Первый шок уже позади, и я начинаю приходить в себя. . . Хорошо, что я не заключил пари. Оно привело бы к огромной потере денег (что я не могу себе позволить); но я поставил себя в глупое положение (что, я думаю, я могу себе позволить) — кстати, лишь в письмах или устных заявлениях, а не в напечатанной работе. Но у других теперь есть право смеяться надо мной.

Меня шокирует не тот факт, что «Бог — всего лишь левша», а тот факт, что, несмотря на это, Он проявляет Себя как лево/правосимметричный, когда Он выражает Себя в сильных взаимодействиях. Короче говоря, настоящей задачей теперь является найти ответ на вопрос, почему сильные взаимодействия являются лево/правосимметричными<sup>296</sup>.

Эта задача до сих пор не решена.

Записка, написанная рукой Паули и приложенная к его статье по нарушению четности<sup>297</sup>:

С прискорбием сообщаем, что наша дорогая *Freundin* [подруга] в течение долгих лет

## ЧЕТНОСТЬ

тихо скончалась 19 января 1957 года после краткой болезни, причиной которой явилось экспериментальное лечение. От имени скорбящих родственников,

*e, μ, v*

---

Последние два года жизни Паули, о которых я должен теперь рассказать, не были хорошим периодом его жизни.

Прежде всего, наступил разрыв с Ресом Йостом, его младшим коллегой в Цюрихе. Этот момент уже отражен в главе, посвященной Йосту в этой книге.<sup>298</sup> Кроме того, это были годы бесплодного сотрудничества с Гейзенбергом. И то, и другое в равной мере послужили причиной эмоциональной неустойчивости Паули в течение этих лет.

В середине 50-х годов Гейзенберг предположил, что определенное нелинейное уравнение могло бы описать все свойства всех фундаментальных частиц<sup>299</sup>. Он писал о реакции Паули на эту идею:

Поздней осенью 1957 года. . . я сообщил Паули о самой последней разработке. . . Он тоже был очень взволнован. . . Мы решили, что оба займемся этим вопросом. . . Каждый шаг в этом направлении

Вольфганг предпринимал все с большим энтузиазмом — ни до, ни после этого я не видел его таким взволнованным по поводу физического исследования. . . Он был твердо убежден в том, что наше уравнение . . . должно было стать начальной точкой для единой теории поля элементарных частиц<sup>300</sup>.

Гейзенберг приводит цитату<sup>300</sup> из письма Паули с Новогодними пожеланиями на 1958 год: «Все непрерывно меняется. . . Это все должно стать величественным поворотным пунктом. . . Это мощная штука. . . Давай пройдем к ней торжественным маршем. До Типперэри долгий путь, идти далеко».

Через несколько недель Паули уехал в Соединенные Штаты на трехмесячный тур для чтения лекций. Гейзенберг: «Мне не нравилась идея о том, что Паули, в его возвышенном настроении, предстоит общаться с трезвомыслящими американскими прагматиками, и пытался остановить его. Но, к сожалению, его планы уже нельзя было изменить<sup>300</sup>».

Первой остановкой Паули был Нью-Йорк. Его попросили провести «секретный» семинар по его настоящей работе с Гейзенбергом в Колумбийском университете, куда придут лишь приглашенные лица. В действительности же он выступал в переполненной большой лекционной аудитории в лаборатории Пьюпина. Я присутствовал там и помню свою реакцию: это был не тот Паули, которого я знал в течение многих лет. Он говорил неуверенно. После семинара вокруг него собрались несколько человек, включая Нильса Бора и меня. Паули сказал Бору: «Вы, наверное, думаете, что это все безумие». На что Бор ответил: «Да, но, к сожалению, это недостаточно безумно».

Поездка Паули завершилась в Беркли. Оттуда он послал письмо Ландау и его копии другим коллегам, включая меня, в котором писал о своем «настоящем отношении к новой ситуации, которая далека от завершения, а наоборот, постоянно меняется<sup>301</sup>». Вновь Гейзенберг: «Тогда нас разделял Атлантический океан, и письма Вольфганга приходили все реже и реже . . . Потом он неожиданно написал мне какое-то бесцеремонное письмо, в котором сообщал мне о своем решении отойти от нашей работы и публикации<sup>300</sup>».

И Гейзенберг, и Паули присутствовали на международной конференции в ЦЕРНе (30 июня — 5 июля 1958 года). Гейзенберг вспоминал: «Я должен был читать доклад по текущему состоянию исследования по обсуждаемому уравнению поля, и отношение ко мне со стороны Вольфганга было почти враждебным»<sup>300</sup>. Критическое отношение Паули нашло выражение в работе конференции<sup>302</sup>. Вскоре после конференции Паули сказал Гейзенбергу: «Возможно, все наши надежды осуществят-

ся, и Ваш оптимизм будет вознагражден. Что касается меня, то я должен был выйти. У меня просто не было сил<sup>300</sup>».

Гейзенберг же был непреклонен<sup>303</sup>. Но его поздняя работа не имела продолжительного значения.

---

5 декабря 1958 года Паули должен был прервать занятие из-за сильных болей и уехать домой на такси. На следующий день его привезли в цюрихскую больницу Роте Крайц. Его беспокоило то, что номер его больничной палаты был 137, он напоминал число 1/137, постоянную тонкой структуры, которое ввел в физику его учитель Зоммерфельд. Еще одно звено, связывающее Паули с таким знакомым ему «магически-символическим» миром. У него была обнаружена карцинома поджелудочной железы. 13 декабря состоялась операция, 15 декабря он умер в возрасте 58 лет.

20 декабря в Фраумюнстерской церкви Цюриха состоялась заупокойная служба, хотя Паули не был религиозен. На ней выступали его друзья и коллеги, включая Нильса Бора. Его коллега по ФТИ Пол Шеррер сказал следующее: «Было трудно узнать Паули человека. Он был понимающим и великодушным человеком, но он же был безжалостным и бескомпромиссным в научных спорах. И причиной этого было его безжалостное требование честности, которое, в конце концов, учишься ценить<sup>304</sup>». Мне остается добавить к этому слова Эренфеста, сказанные на 25 лет раньше по случаю награждения Паули медалью им. Лоренца<sup>128</sup>: «Вы удостоены этой чести за Вашу проницательность и честность, за то необычайное внимание, с которым Вы всегда относитесь к заслугам других исследователей».

После службы миссис Паули устроила прием в *Guild Hall Zur Meise*. 2 января 1959 года она писала мне: «Я была глубоко тронута выражением Вашего сочувствия». Однажды в 1963 году я сидел рядом с ней на обеде у миссис Бор. Я записал то, что она сказала мне о своем муже в то время, незадолго до его смерти: «Он был легко раним и поэтому закрывал занавес. Он пытался жить, не подпуская реальность. И его молчание напрямую исходило от убеждения, что это возможно».

## Постскрипtum

Моим самым ценным материальным символом связи с прошлыми мастерами физики является первая страница корректурной гранки



Марка, выпущенная в Австрии и посвященная 25-й годовщине смерти Паули.

Приложения II «Обобщенная теория гравитации», которое впервые появилось в издании 1950 года «Сущность теории относительности» А. Эйнштейна. На этой странице слегка дрожащей рукой семидесятилетнего Эйнштейна написано:

*Pauli (nach Rücksprache mit Frau Pauli geben!)*

Паули (после внимательного прочтения отдай, пожалуйста, Пайсу!)

## Библиография и примечания

Ниже используются следующие сокращения:

P: В. Паули

CSP: *Collected Scientific Papers by Wolfgang Pauli* (R. Kronig and V. Weisskopf, Eds), Wiley, New York, 1964

SC: *Wolfgang Pauli, Scientific Correspondence*, several volumes, those used here edited by K. von Meyenn, Springer, New York, 1979 and later years.

1. Письмо P к Пайсу, October 23, 1945, SC Vol. 3, p. 324.
2. A. Pais, *Trans. Kon. Ak. Wet. Amsterdam* **19**, 1, 1947; briefly summarized in A. Pais, *Phys. Rev.* **68**, 227, 1945.
3. A. Chwala, *Monatshefte f. Chemie* **81**, 3, 1950.
4. W. J. Pauli, письмо к E. Mach, February 17, 1913, цитируется в W. Pauli, *Physik und Erkenntnistheorie* (K. von Meyenn, Ed.), p. VIII, Vieweg, Braunschweig, 1984.
5. Письмо взято из C. P. Enz, в 'W. Pauli's scientific work,' in *The Physicist's Conception of Nature* (J. Mehra, Ed.), p. 766, Reidel, Boston, 1973.
6. SC, Vol. 1, p. 11.
7. P, в письме к C. Jung, October 23, 1956, reprinted in C. A. Meier, *Pauli-Jung Briefwechsel*, p. 150, Springer, New York, 1992.
8. M. Fierz, 'Wolfgang Pauli,' in *Dictionary of Scientific Biography* (C. Gillispie, Ed.), Vol. 10, p. 422, Scribner's, New York, 1974.
9. P, *Phys. Zeitschr.* **20**, 25, 1919, CSP, Vol. 2, p. 1.
10. P, *Phys. Zeitschr.* **20**, 457, 1919; *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **21**, 742, 1919; CSP, Vol. 2, pp. 10, 13.
11. P, *Encyclopadie der mathematischen Wissenschaften*, Vol. 5, part 2, Teubner, Leipzig, 1921; CSP, Vol. 1, p. 1.
12. A. Einstein, *Naturw.* **10**, 184, 1922.
13. P, *Theory of Relativity*, Pergamon, New York 1958.
14. P, письмо к N. Bohr, October 2, 1924, SC, Vol. 1, p. 163.
15. P, письмо к A. Einstein, November 10, 1923, SC, Vol. 1, p. 128.
16. P in *Electrons et photons*, p. 256, Gauthier-Villars, Paris, 1928.
17. P, письмо к H. Weyl, July 1, 1929, SC, Vol. 1, p. 505.
18. P. Ehrenfest, письмо к P, November 26, 1928, SC, Vol. 1, p. 477.
19. Подробности см. в A. Pais, *Subtle is the Lord*, pp. 344-6, Oxford University Press, Oxford and New York, 1982.
20. P, письмо к H. Weyl, August 26, 1929, SC, Vol. 1, p. 518.
21. P, письмо к P. Jordan. November 30, 1929. SC. Vol. 1. p. 525.

22. P, письмо к P. Ehrenfest, September 29, 1929, SC, Vol. 1, p. 522.
23. P, письмо к A. Einstein, December 19, 1929, SC, Vol. 1, p. 526.
24. A. Einstein, письмо к P, December 24, 1929, SC, Vol. 1, p. 528.
25. P, *Naturw.* **20**, 186, 1932, CSP, Vol. 2, p. 1399.
26. A. Einstein, письмо к P, January 22, 1932, SC, Vol. 2, p. 109.
27. P, письмо к A. Einstein, July 16, 1933, SC, Vol. 2, p. 189.
28. P, *Ann. d. Phys.* **18**, 305, 337, 1933, CSP, Vol. 2, p. 630.
29. A. Einstein and P, *Ann. Math.* **44**, 131, 1943, CSP, Vol 2, p. 994.
30. Копия в архиве Эйнштейна.
31. *Science*, **103**, 213, 1946; CSP, Vol 2, p. 1073.
32. P, письмо к M. Born, April 24, 1955, SC to be published.
33. SC, Vol. 3, p. 328.
34. P, in *Les Prix Nobel*, p. 131, Norstedt, Stockholm, 1948, CSP, Vol. 2, p. 1080.
35. P, письмо к A. Einstein, September 19, 1946, SC, Vol. 3, p. 383.
36. A. Einstein, письмо к P, April 1, 1948, SC, Vol. 3, p. 518.
37. Other letters: P to A. Einstein, September 6, 1938, SC, Vol. 2, p. 598; January 6, 1944, SC, Vol. 3, p. 213; April 21, 1948, SC, Vol. 3, p. 520; Einstein to P: September 1938, SC, Vol 2, p. 600; May 2, 1948, SC, Vol. 3, p. 524.
38. P, письмо к A. Einstein, March 7, 1949, SC, Vol. 3, p. 643.
39. P, in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (P. Schilpp, Ed.), Tudor, New York, 1949.
40. P, in *Neue Zurcher Zeitung*, August 22, 1955, CSP, Vol. 2, p. 1237.
41. See also P in *Neue Zurcher Zeitung*, January 12, 1958, CSP, Vol. 2, p. 1362.
42. P, in 'Ftinfzig Jahre Relativitats theorie,' *Helv. Phys. Acta*, Supplement 4, 27, pp. 261, 282, 1956; CSP, Vol. 2, p. 1299.
43. P, *Zeitschr. f. Physik* **2**, 201, 1920, CSP, Vol. 2, p. 24.
44. P, *Phys. Zeitschr.* **21**, 615, 1920, CSP, Vol. 2, p. 36.
45. P, *Ann. der Phys.* **68**, 177, 1922, CSP, Vol. 2, p. 70.
46. SC, Vol. 1, p. 32.
47. K. von Meyenn, *Die grossen Physiker*, Vol. 2, p. 319, Beck, Munich, 1957.
48. P, 'Quantentheorie,' in *Handbuch der Physik*, Vol. 23, Springer, Berlin, 1926, CSP, Vol. 1, p. 269.
49. P, *Z. f. Naturf.* **6a**, 468, 1951; CSP, Vol. 2, p. 1159.
50. W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, p. 41, Piper, Munich, 1969.
51. Ref. 49. n. 45.



52. M. Born, письмо к А. Einstein, October 21, 1921, in Albert Einstein und Max Born, Briefwechsel, p. 88, Nymphenburg, Munich, 1969.
53. M. Born, письмо к А. Einstein, November 29, 1921, ref. 51, p. 93.
54. M. Born, ref. 51, p. 95.
55. M. Born and P, *Zeitschr. f. Physik* **10**, 137, 1922, CSP, Vol. 2, 48.
56. N. Bohr, письмо к P, July 3, 1922, SC, Vol. 1, p. 60.
57. N. Bohr, письмо к Н. А. Kramers, July 15, 1922, reprinted in *Niels Bohr, Collected Works* (J. R. Nielsen, Ed.), Vol. 3, p. 658, North-Holland, New York, 1976.
58. Н. А. Kramers and P, *Zeitschr. f. Physik* **13**, 351, 1923, CSP, Vol. 2, p. 134.
59. P, *Zeitschr. f. Physik* **18**, 272, 1923; CSP, Vol. 2, p. 161.
60. P, *Zeitschr. f. Physik* **16**, 155, 1923; CSP, Vol. 2, p. 151.
61. P, письмо к А. Sommerfeld, June 6, 1923, SC, Vol. 1, p. 94.
62. Ref. 47, p.437.
63. P, *Zeitschr. f. Physik* **31**, 373, 1925; CSP, Vol. 2, p. 201.
64. P, *Zeitschr. f. Physik* **31**, 765, 1925; CSP, Vol. 2, p. 214.
65. P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc.* **A112**, 661, 1926.
66. A. Pais, *Inward Bound*, chapter 13, section (b), Oxford University Press, 1986.
67. S. Goudsmit, *Physica***5**, 281, 1925.
68. P, письмо к А. Sommerfeld, December 6, 1924, SC, Vol. 1, p. 182.
69. E. Stoner, *Phil. Mag.* **48**, 719, 1924.
70. G. E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, *Naturw.* **13**, 953, 1925.
71. P, письмо к Н. Bohr, December 30, 1925, SC, Vol. 1, p. 274.
72. See the Pauli correspondence in February-March 1926, SC, Vol. 1, pp. 296-312.
73. P, *Naturw.* **12**, 741, 1924, CSP, Vol. 2, p. 198.
74. P, chapter 27 in Müller-Pouillet's *Lehrbuch der Physik*, Vol. 2, p. 1483, Vieweg, Braunschweig; CSP, Vol. 1, p. 565.
75. See ref. 18, chapter 22, p. 417ff; and my *Niels Bohr's Times*, chapter 11, p. 235ff, Oxford University Press, 1991.
76. P, письмо к R. Kronig, May 21, 1925, SC, Vol. 1, p. 214.
77. W. Heisenberg, *Zeitschr. f. Physik* **33**, 879, 1925.
78. W. Heisenberg, письмо к P, June 24, 1925, SC, Vol. 1, p. 225.
79. P, письмо к Н. А. Kramers, July 27, 1925, SC, Vol. 1, p. 232.
80. P, письмо к R. Kronig, October 9, 1925, SC, Vol. 1, p. 315.
81. P, *Zeitschr. f. Physik* **36**, 336, 1926; CSP, Vol. 2, p. 252.
82. For this failure see my essay on O. Klein in this book.

83. N. Bohr, письмо к P, November 25, 1925, SC, Vol. 1, p. 268.
84. W. Heisenberg, in *Theoretical Physics in the Twentieth Century*, p. 40, Interscience, New York, 1960.
85. W. Heisenberg, письмо к P, November 3, 1925, SC, Vol. 1, p. 252.
86. E. Schrödinger, *Ann. d. Phys.* **79**, 361, 1926.
87. P, письмо к P. Jordan, April 12, 1926, SC, Vol. 1, p. 315.
88. E. Schrödinger, *Ann. d. Phys.* **79**, 734, 1936.
89. See the essay on Born in this book.
90. P, *Zeitschr. f. Physik* **41**, 81, 1927; CSP, Vol. 2, p. 284.
91. L. Mensing and P, *Phys. Z.* **27**, 509, 1926; CSP, Vol. 2, p. 280.
92. W. Heisenberg, письмо к P, July 28, 1926, SC, Vol. 1, p. 337.
93. W. Heisenberg, *Zeitschr. f. Physik* **43**, 172, 1927.
94. W. Heisenberg, письмо к P, February 23, 1927, SC, Vol. 1, p. 376.
95. N. Bohr, письмо к P, August 13, 1927, SC, Vol. 1, p. 407.
96. For details of this episode, see my *Niels Bohr's Times*, ref. 74, chapter 14, section (e).
97. P, письмо к N. Bohr, October 17, 1927, SC, Vol. 1, p. 411.
98. N. Bohr, письмо к P, May 14, 1928, SC, Vol. 1, p. 456; P, письмо к N. Bohr, June 16, 1928, SC, Vol. 1, p. 462..
99. For details see ref. 18, chapter 25, section (a); ref. 95, chapter 14, section (f).
100. Account by Otto Stern, taped on December 2, 1961, by Res Jost.
101. P, *Zeitschr. f. Physik* **41**, 81, 1927; CSP, Vol. 2, p. 284.
102. R. Peierls, *Memoirs Members F. R. S.* 5, 175, 1959.
103. Ref. 65, chapter 13, section (d).
104. P, *Zeitschr. f. Physik* **43**, 601, 1927; CSP, Vol. 2, p. 306.
105. P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc.* **A117**, 610, 1928; **118**, 351, 1928. See further, ref. 65, chapter 13, section (e); also the essay on Dirac in this book.
106. P, *Handbuch der Physik*, Vol. 24, part 1, Springer, Berlin, 1933; CSP Vol. 1, p. 771.
107. For the role of these and other contributions dating from the old quantum theory, see ref. 18, chapters 19, 21, and 22.
108. M. Born and P. Jordan, *Zeitschr. f. Physik* **34**, 858, 1925.
109. English translation, of ref. 107 in B. L. van der Waerden, *Sources of Quantum Mechanics*, Dover, New York, 1968.
110. M. Born, W. Heisenberg, and P. Jordan, *Zeitschr. f. Physik* **35**, 557, 1925, English translation in ref. 108.
111. P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc.* **A114**, 243, 710, 1927.
112. Все упомянутые статьи также рассмотрены в ref. 65. chapter 15.

113. W. Heisenberg, письмо к P, February 23, 1927, SC, Vol. 1, p. 376.
114. P, письмо к P. Jordan, March 12, 1927, SC, Vol. 1, p. 385.
115. P. Jordan and P, *Zeitschr. f. Physik* **47**, 151, 1928; CSP, Vol. 2, p. 331.
116. P, письмо к H. Weyl, January 29, 1928, SC, Vol. 1, p. 427.
117. P, письмо к H. A. Kramers, February 7, 1928, SC, Vol. 1, p. 432.
118. P, in anniversary volume for A. Sommerfeld, p. 30, Hirzel Verlag, Leipzig, 1928; CSP, Vol. 1, p. 549.
119. P, письмо к O. Klein, February 18, 1929, SC, Vol. 1, p. 488.
120. W. Heisenberg and P, *Zeitschr. f. Physik* **56**, 1, 1929; CSP, Vol. 2, p. 354.
121. G. Wentzel, in ref. 83, p. 51. This paper gives a good synopsis of ref. 119.
122. W. Heisenberg and P, *Zeitschr. f. Physik* **59**, 168, 1930; CSP, Vol. 2, p. 415.
123. P, письмо к H. Weyl, August 26, 1929, SC, Vol. 1, p. 518.
124. P, письмо к O. Klein, February 10, 1930, SC, Vol. 2, p. 2.
125. P, письмо к O. Klein, March 10, 1930, SC, Vol. 2, p. 2.
126. P, *Izv. Akad. Nauk SSSR*, 1938, p. 149; CSP, Vol. 2, p. 843.
127. P, письмо к P. Epstein, December 10, 1937, SC, Vol. 2, p. 541. О подробностях визита Паули в СССР см. V. Frenkel, in, *Wolfgang Pauli* (C. P. Enz and K. von Meyenn, Eds), p. 56, Vieweg, Braunschweig, 1988.
128. P, письмо к M. Delbrück, October 6, 1958. See SC, Vol. 2, p. 38.
129. C. Jung, *Psychology and Alchemy*, section 45, Gesammelte Werke, Vol. U. Walter Verlag, Otten, Switzerland, 1972.
130. P. Ehrenfest, *Collected Scientific Papers* (M. Klein, Ed.), p. 617, North-Holland, Amsterdam, 1959.
131. P, письмо к P. Ehrenfest, October 26, 1931, SC, Vol. 2, p. 96.
132. H. B. G. Casimir, *Haphazard Reality*, p. 86, Harper and Row, New York, 1983.
133. P, *Naturw.* **21**, 841, 1933; CSP, Vol. 2, p. 698; See also P, письмо к W. Heisenberg, September 30, 1933, SC, Vol. 2, p. 215.
134. Ref. 130, p. 144. 13 Ib. P, письмо к W. Heisenberg, March 10, 1938, SC, Vol. 2, p. 556.
135. Ref. 130, p. 137.
136. See SC, Vol. 2, p. VII for much detail.
137. P, письмо к R. Kronig, November 22, 1927, SC, Vol. 1, p. 415.
138. R. Kronig, письмо к P. Jordan, June 4, 1928, SC, Vol. 1, p. 458.
139. P, CSP, Vol. 2, p. 1313.
140. Statement by P to R. Jost (Jost, private communication).
141. W. Heisenberg, письмо к P. December 1. 1930. SC. Vol. 2. n. 37.

142. P, письмо к L. Meitner and others, December 4, 1930, SC, Vol. 2, p. 39; also ref. 136.
143. См. ref. 65, chapter 14, section (d), for an English translation as well as a detailed history of the surrounding events.
144. Ref. 65, chapter 14, section (b).
145. P, письмо к O. Klein, December 12, 1930, SC, Vol. 2, p. 43.
146. P. Guttinger and P, *Zeitschr. f. Physik* **67**, 743, 1931; CSP, Vol. 2, p. 438.
147. P, *Phys. Rev.* **38**, 579, 1931.
148. *The New York Times*, June 17, 1931.
149. See also *Science* **74**, 111, 1931.
150. P, письмо к R. Peierls, July 1, 1931, SC, Vol. 2, p. 88.
151. P, письмо к F. Rasetti, October 6, 1956, copy in Niels Bohr Archive, Copenhagen.
152. G. Gamow, *The Constitution of Atomic Nuclei and Radioactivity*, Oxford University Press, 1931.
153. P, *Naturw.* **20**, 582, 1932; CSP, Vol. 2, p. 1400.
154. F. Bloch, письмо к N. Bohr, April 6, 1933, copy in Niels Bohr Archive, Copenhagen.
155. P, in *Structure et propriétés des noyaux atomiques*, p. 324, Gauthier-Villars, Paris, 1934.
156. F. Perrin, ref. 152, p. 327.
157. E. Fermi, *Nuov. Cim.* **11**, 1, 1934; *Zeitschr. f. Physik* **88**, 161, 1934.
158. P, письмо к P. M. S. Blackett, April 19, 1933, SC, Vol. 2, p. 158.
159. Quoted in ref. 83, p. 137. See also R. Peierls, ref. 101, p. 140.
160. Described in more detail in my essay on Dirac in this book.
161. P, письмо к Dirac, May 1, 1933, SC, Vol. 2, p. 159.
162. P, письмо к W. Heisenberg, February 6, 1934, SC, Vol. 2, p. 274.
163. W. Heisenberg, письмо к P, April 25, 1935, SC, Vol. 2, p. 386.
164. 'The theory of the positron and related topics,' notes by B. Hoffmann, Institute for Advanced Study, 1935-36, mimeographed notes.
165. P and M. Rose, *Phys. Rev.* **49**, 462, 1936; CSP, Vol. 2, p. 749.
166. P, письмо к W. Heisenberg, June 14, 1934, SC, Vol. 2, p. 327.
167. P, *Helv. Phys. Acta* **5**, 179, 1932; CSP, Vol. 2, p. 481; in *Pieter Zeeman, Verhandelingen*, p. 31, Nyhoff, The Hague, 1935; CSP, Vol. 2, p. 724; *Helv. Phys. Acta*, **12**, 147, 1939; CSP, Vol. 2, p. 847.
168. Ref. 27, and also P and J. Solomon, *J. Phys. Radium* **7**, 452, 582, 1934, CSP, Vol. 2, p. 461.
169. 'Le magnetisme,' *Proceedings of the 6th Solvay conference*, 1930, nn. 175. 250. CSP. Vol. 2. n. 502.

170. P and M. Fierz, *Zeitschr. f. Physik* **106**, 582, 1937; CSP, Vol. 2, p. 797. For a review see M. Fierz, ref. 83, p. 161.
171. P and M. Fierz, *Nuov. Cim.* **15**, 167, 1938; SC, Vol. 2, p. 812.
172. P and F. J. Belinfante, *Physica* **7**, 177, 1940; SC, Vol. 2, p. 895.
173. P, письмо к Н. В. G. Casimir, October 11, 1945, SC, Vol. 3, p. 320.
174. P, письмо к J. von Neumann, April 19, 1939, SC, Vol. 3, p. xxvii.
175. P, письмо к N. Kemmer, August 29, 1939, SC, Vol. 2, p. 674.
176. P, письмо к I. Rabi, July 10, 1943, SC, Vol. 3, p. 186.
177. SC, Vol. 3, p. XXIX.
178. P, письмо к M. Fierz, September 3, 1940, SC, Vol. 3, p. 35.
179. P, письмо к H. Hopf, October 15, 1940, SC, Vol. 3, p. 46.
180. P, письмо к V. Weisskopf, November 28, 1940, SC, Vol. 3, p. 53.
181. P, письмо к V. Weisskopf, December 30, 1940, SC, Vol. 3, p. 57.
182. P, письмо к J. M. Jauch, May 11, 1941, SC, Vol. 3, p. 98.
183. P, письмо к G. Wentzel, December 30, 1941, SC, Vol. 3, p. 116.
184. P, *Phys. Rev.* **58**, 716, 1940, CSP, Vol. 2, p. 918; see also P, *Progr. Theor. Phys.* **5**, 526, 1950, CSP, Vol. 2, p. 1131.
185. P, письмо к W. Heisenberg, June 28, 1934, SC, Vol. 2, p. 334.
186. P, *Ann. Inst. Poincaré* **6**, 137, 1936; CSP, Vol. 2, p. 781.
187. M. Fierz, *Helv. Phys. Acta* **12**, 3, 1939.
188. N. Burgoyne, *Nuov. Cim.* **8**, 607, 1958; see also the review by R. Jost in ref. 83, p. 107.
189. P, in *Niels Bohr and the Development of Physics*, p. 30, McGraw-Hill, New York, 1955.
190. R. Jost, *Helv. Phys. Acta* **30**, 409, 1957 and ref. 83, p. 107. Для обзора по CPT-теореме см. R. F. Streater and A. Wightman, PCT, *Spin and Statistics and All That*, Benjamin, New York, 1964.
191. P, *Rev. Mod. Phys.* **13**, 203, 1941; CSP, Vol. 2, p. 923.
192. P, *Phys. Rev.* **64**, 332, 1943; CSP, Vol. 2, p. 1034.
193. G. Wentzel, *Zeitschr. f. Physik.* **86**, 479, 1933; 87, 726, 1934, reviewed in his *Quantum Theory of Fields and Particles*, Interscience, New York, 1948.
194. P, *Rev. Mod. Phys.* **15**, 175, 1943; also *Phys. Rev.* **65**, 255, 1944; *Helv. Phys. Acta* **19**, 254, 1946; reprinted in CSP, Vol. 2, pp. 1001, 1047, 1076, respectively.
195. P. A. M. Dirac, *Ann. Inst. Poincaré* **9**, 13, 1939; *Proc. Roy. Soc.* **A180**, 1, 1942; *Comm. Dublin Inst. Adv. Study* **A1**, 1942.
196. P, письмо к G. Breit, December 18, 1937, quoted in SC, Vol. 3, p. xxii.
197. P, письмо к R. Oppenheimer, January 6, 1948, SC, Vol. 3, p. 493.
198. P, письмо к Н. В. G. Casimir. October 11. 1945. SC. Vol. 3. p. 320.

199. P, письмо к R. Oppenheimer, October 4, 1941, SC, Vol. 3, p. 109.
200. See SC, Vol. 3, p. 997; also P, письмо к R. Oppenheimer, April 9, 1945, SC, Vol. 3, p. 265.
201. P and S. Dancoff, *Phys. Rev.* **62**, 85, 1942; CSP, Vol. 2, p. 953.
202. P, письмо к R. Oppenheimer, April 9, 1942, SC, Vol. 3, p. 134.
203. P and S. Kusaka, *Phys. Rev.* **63**, 400, 1943; CSP, Vol. 2, p. 977.
204. P and Ning Hu, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 267, 1945; CSP, Vol. 2, p. 1053.
205. P, *Meson Theory of Nuclear Forces*, Interscience, New York, 1948, CSP, Vol. 1, p. 939.
206. P, письмо к L. Rosenfeld, July 20, 1945, SC, Vol. 3, p. 295.
207. P, письмо к G. Wentzel, July 20, 1942, SC, Vol. 3, p. 149.
208. J. R. Oppenheimer, письмо к P, May 20, 1943, SC, Vol. 3, p. 181.
209. P, письмо к J. R. Oppenheimer, April 9, 1945, SC, Vol. 3, p. 265.
210. Например, P, письмо к M. Delbruck, December 1, 1944, SC, Vol. 3, p. 251.
211. P, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 97, 1945; CSP, Vol. 2, p. 1048.
212. P, письмо к O. Klein, August 31, 1945, SC, Vol. 3, p. 308.
213. SC, Vol. 3, p. XLVIII.
214. P, письмо к J. R. Oppenheimer, September 8, 1946, SC, Vol. 3, p. 380.
215. P, письмо к I. Rabi, August 12, 1946, SC, Vol. 3, p. 375.
216. R. Jost, *Phys. Bl.* **40**, 178, 1984.
217. SC, Vol. 4, parti, pp. 2, 3.
218. Ref.214.pp.4-8.
219. См. сноску 2 в P, письмо к M. Fierz, September 1, 1949, SC, Vol. 3, p. 696.
220. Ref. 214, p. XXX.
221. P, письмо к M. Fierz, June 2, 1949, SC, Vol. 3, p. 657.
222. P, письмо к J. R. Oppenheimer, January 6, 1948, SC, Vol. 3, p. 493.
223. P and F. Villars, *Rev. Mod. Phys.* **21**, 434, 1949; CSP, Vol. 2, p. 1116.
224. A. Pais, *Phys. Rev.* **68**, 227, 1945.
225. For example, P, in *Physical Society of Cambridge Conference*, 1946, Report p. 5; CSP, Vol. 2, p. 1097, and in *Proceedings of the 8th Solvay Conference*, 1948, p. 287; CSP, Vol. 2, p. 1127.
226. P, письмо к J. Schwinger, January 24, 1949, SC, Vol. 3, p. 609. See also P, letters to H. Bethe, May 15, 1948; January 25, 1949, SC, Vol. 3, pp. 528, 619, respectively.
227. См. эссе о Йосте в этой книге.
228. P, *Nuov. Cim.* **10**, 648, 1953; CSP, Vol. 2, p. 1176.
229. G. Källén and P, *Kgl. Danske Vid. Selsk. Mat.-Fys. Medd.* **30**, 3, 1953, CSP, Vol. 2. n. 1261.

230. P, *Nuov. Cim.* **6**, 204, 1957; **14**, 205, 1959; CSP, Vol. 2, pp. 1338, 1383, respectively
231. P, *Vierteljahresschr. Naturf. Ges. Zurich* **97**, 137, 1952; *Proceedings of the Rydberg Conference on Atomic Spectroscopy*, Lund 1954, p. 22; CSP, Vol. 2, 1160, 1231, respectively.
232. P, *Experientia* **6**, 72, 1950; CSP, Vol. 2, p. 1149; *Verb. Schweiz. Naturf. Ges.* p. 76, 1952; CSP, Vol. 2, p. 1196; *Dialectica* **6**, 141, 1952; **8**, 112, 1954; **11**, 36, 1957; CSP, Vol. 2, pp. 1163, 1199, 1350, respectively.
233. P, письмо к Bohr, October 29, 1946, SC, Vol. 3, p. 394.
234. I. Rabi, письмо к P, October 2, 1946, SC, Vol. 3, p. 385.
235. P, letters to A. Pais, November 17, 1947; August 19, December 26, 1948; February 18, April 1, April 19, May 26, December 28, 1949, SC, Vol. 3, pp. 477, 566, 585, 633, 647, 650, 654, 728, respectively.
236. P, письмо к G. Wentzel, September 7, 1931, SC, Vol. 3, p. 751.
237. См. сноску 1 в P, письмо к A. Pais, June 6, 1950, SC, Vol. 4, part 1, p. 113.
238. См. сноску 3 в P, письмо к A. Pais, July 3, 1953, SC, Vol. 4, part 2.
239. P, письмо к N. Bohr, June 6, 1950, SC, Vol. 4, part 1, p. 110.
240. P, письмо к M. Fierz, July 5, 1950, SC, Vol. 4, part 1, p. 139.
241. C. G. Jung, *Gestaltungen des Unbewussten*, Rascher Verlag, Zurich, 1950.
242. P, письмо к A. Pais, August 17, 1950, SC, Vol. 4, part 1, p. 151.
243. P, postcard to A. Pais, April 9, 1951, SC, Vol. 4, part 1, p. 287.
244. P, postcard to A. Pais, August 22, 1951, SC, Vol. 4, part 1, p. 356.
245. P, письмо к A. Pais, April 28, 1952, SC, Vol. 4, part 1, p. 617.
246. P, письмо к A. Pais, May 7, 1952, SC, Vol. 4, part 1, p. 626.
247. P, письмо к A. Pais, May 20, 1952, SC, Vol. 4, part 1, p. 632.
248. P, in mimeographed Report International Physics Conference, Copenhagen, June 1952, p. 51.
249. A. Pais, *Phys. Rev.* **86**, 663, 1952.
250. A. Pais, *Physica* **19**, 869, 1953.
251. W. Heisenberg, *Physica* **19**, 905, 1953.
252. P, *Physica* **19**, 887, 1953.
253. O. Klein, in *New Theories in Physics* (Warsaw Conference, May 30–June 3, 1938), p. 77, Nyhoff, The Hague, 1939.
254. Подробности см. в эссе о Клейне в этой книге.
255. P, письмо к A. Pais, July 3, 1953, SC, Vol. 4, part 2.
256. P, letters to O. Klein, July 14, 1953, and to M. Fierz, July 3, 22, 25, 1953, SC, Vol. 4, part 2.
257. P, письмо к A. Pais. July 25. 1953. SC. Vol. 4. part 2.

258. P, letters to O. Klein, August 25, September 30, October 23, 1953, SC, Vol. 4, part 2.
259. P, letters to R. Oppenheimer, September 3, October 23, 1953, Vol. 4, part 2.
260. P, letters to M. Fierz, October 5, 1953, and to R. Schafroth, November 17, 1953, SC, Vol. 4, part 2.
261. P, письмо к А. Pais, December 6, 1953, SC, Vol. 4, part 2.
262. C. N. Yang and R. Mills, *Phys. Rev.* **95**, 631; **96**, 191, 1954.
263. P. Gulmanelli, *Su una teoria dello spin isotopico*, Pubblicazioni sezione di Milano dell' Istituto Nazionale di Fysica Nucleare, Casa Editrice Pleion, Milan, undated.
264. C. N. Yang, *Selected Papers 1945-1980*, p. 19, Freeman, San Francisco 1983.
265. P, письмо к М. Schlick, August 21, 1922, SC, Vol. 2, p. 692.
266. P, *Scientia* **59**, 65, 1936; CSP, Vol. 2, p. 737.
267. Pauli, *Writings on Physics and Philosophy* (C. P. Enz and K. von Meyenn, Eds), Springer, New York, 1994.
268. P, CSP, Vol. 1, p. 1125, ref. 264, p. 27.
269. P, CSP, Vol. 2, p. 1290, ref. 264, p. 137.
270. P, *Experientia* **6**, 72, 1950; CSP, Vol. 2, p. 1149, ref. 264, p. 35.
271. P, *Helv. Phys. Acta* supplement 4, 282, 1956; CSP, Vol. 2, p. 1299, ref. 264, p. 107.
272. P, *Dialectics* **8**, 112, 1954; CSP, Vol. 2, p. 1199, ref. 264, p. 43.
273. P, письмо к С. G. Jung, March 31, 1953, reprinted in Wolfgang Pauli and C. G. Jung (C. A. Meier, Ed.), p. 103, Springer, New York, 1992.
274. P, *Dialectica* **11**, 36, 1957; CSP, Vol. 2, p. 1350, ref. 264, p. 127.
275. P, письмо к V. Weisskopf, February 23, 1954, SC.
276. See especially P, letters to N. Bohr, February 15 and March 11, 1955; N. Bohr, letters to W. Pauli, March 2 and 25, 1955, SC.
277. P and C. G. Jung, *Naturerklärung and Psyche*, p. 167, Rascher Verlag, Zurich, 1952.
278. Ref. 274, p. 101.
279. C. G. Jung, 'Traumsymbole des Individuationsprozesses,' p. 13, in *Eranos fahrbuch 1935*, Rhein Verlag, Zurich, 1936. The quoted lines are found on pp. 14, 15, 126. This work was brought to my attention by my late friend Res Jost. More on Pauli's dreams is found in C. G. Jung, 'Psychologie und Alchemie,' and 'Psychologie und Religion,' *Collected Works* (H. Read et al. Eds), Vols 11, 12.
280. See ref. 270, pp. 34, 133, 159.
281. P, письмо к А. Pais, August 17, 1950, SC, Vol. 4, part 1, p. 151.
282. См. также P, письмо к С. G. Jung, February 27, 1952, SC, Vol. 4, part 1. p. 557.



283. См., например, ref. 276, letters No. 3, 4, 15, 55, 56, 59, and ref. 270, letters No. 23, 42,44,55,69.
284. P, письмо к M. Fierz, October 3, 1951, SC, Vol. 4, part 1, p. 375.
285. P, письмо к M. L. von Franz, July 18, 1954, SC.
286. P, письмо к V. Weisskopf, February 8, 1954, SC.
287. P, письмо к M. Fierz, January 7, 1948, SC, Vol. 3, p. 495.
288. P, *Dialectica* **8**, 283, 1954; CSP, Vol. 2, p. 1212, ref. 264, p. 149.
289. P, ref. 274, p. 109; translation in ref. 264, p. 219.
290. A. Pais, письмо к P, April 20, 1954, SC.
291. P, letters to A. Pais, December 27, 1954; December 9, 1956, SC.
292. See refs. 189 and 225-7, 229.
293. P, in *L. de Broglie, Physicien et Penseur*, p. 33, A. George, Paris, 1953; CSP, Vol. 1, p. 1115.
294. P, CSP, Vol. 2, p. 1313, extended version in ref. 264, p. 193.
295. P, *Experientia* **14**, 1, 1958; CSP, Vol. 1, p. 1368, ref. 264, p. 183.
296. Reprinted in F. Reines, *J. de Physique*, Colloque C8, December 1982, pp. C8-237.
297. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **104**, 254, 1956.
298. P, письмо к R. Schafroth, December 22, 1956, SC.
299. P, письмо к V. Weisskopf, January 27, 1957, CSP, Vol. 1, p. xvii.
300. Ref. 264, p. 192.
301. См. эссе о Ресе Йосте.
302. См., например, W. Heisenberg, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 267, 1957.
303. W. Heisenberg, *Physics and Beyond*, chapter 19, Harper and Row, New York, 1971.
304. P, письмо к L. D. Landau, March 11, 1958.
305. P, in *Proceedings of the 1958 Conference at Cern* (B. Ferretti, Ed.), p. 122, CERN, Geneva, 1958.
306. См. статьи по этому предмету в W. Heisenberg, *Collected Works*, Series B, Springer, New York, 1984, especially his 1966 review on p. 677.
307. P. Scherrer, *Phys. Bl.* **15**, 34, 1959.