

А. Пайс

ГЕНИИ НАУКИ

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



Москва

2002

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>



Джордж Уленбек в своем кабинете в Рокфеллеровском университете, примерно 1970 год. (С любезного разрешения видео-архива Эмилио Сегре, коллекция Уленбека.)

Джордж Юджин Уленбек*

За время своей профессиональной деятельности я знал физиков, получивших за свои выдающиеся открытия, по меньшей мере, такую же известность, как Уленбек. Но я никогда не встречал такого лектора по научным темам, как он. Его спокойствие и его стиль — систематичный, но без следа педантизма — заставляли меня вслушиваться в каждое слово, которое он произносил. Он был самым лучшим моим учителем. Позднее мы стали коллегами и друзьями и публиковались вместе. Сейчас я обращаюсь к своему личному знакомству с Джорджем.

Происхождение. Детство.

Джордж Уленбек обычно носил кольцо с печаткой, на котором была изображена сова. «Уленбек» в немецком означает «совиный ручей». Изображение совы было на семейных доспехах рода Уленбеков. Щит на языке геральдики читался так: лазурь, на стволе дерева, которое поднимается из серебра воды, очертания совы, голова повернута анфас. На простом языке, на щите изображена сова, голова которой повернута к вам, она сидит на стволе дерева, цвет ствола естественный, ствол поднимается из серебристого ручья. (Я обязан переводом голландского описания герба на язык английской геральдики Майклу Маклагану, чиновнику геральдической палаты Ричмонда в колледже вооружения в Лондоне.)

Предки Уленбека имеют немецкие корни. В записях годов 1634 и 1656, хранящихся в государственном архиве в Дюссельдорфе, который одно время был столицей герцогства Берг, упоминается о том, что в то время некий Жан в Уленбеке был собственником поместья Юлленбек, расположенного возле местечка

*Часть этого эссе взята из лекции, прочитанной мной на симпозиуме в память об Уленбеке в Американском физическом обществе, который проходил в Балтиморе 3 мая 1989 года. Опубликовано в *Physics Today* («Физика сегодня»), выпуск декабря 1989 года, стр. 34, а также в ежегоднике Американского философского общества за 1989 год, стр. 327. Перевод на японский язык в *Parity* («Четность»), июнь 1990 года, стр. 24.

Велберт в округе Ангермунд. Последующие четыре поколения предков Джорджа родились и росли в этом самом поместье. Прапраправнук Жана из Уленбека, Йоханнес Вильгельмус Уленбек, поступил на военную службу к королю Пруссии Фридриху II Великому. По причине участия в дуэли он должен был бежать из страны. В 1768 году он поступил на военную службу Голландской Восточно-Индийской компании на острове Цейлон, бывшем голландской колонией с 1658 по 1796 годы. Он был первым, кто принадлежал к голландской ветви в семье Уленбеков.

Юджениус Мариус Уленбек, прапраправнук Йоханнеса Вильгельмуса, родился в 1863 году в Бондовозе, на острове Ява в голландской Восточной Индии (сейчас Индонезия), служил в голландской восточно-индийской армии, дослужился до подполковника. Два его дяди также служили офицерами в этой армии. Их жизни закончились трагически 9 июня 1848 года во время войны против Бали. «Два брата Уленбека были смертельно ранены. Один из них покончил с собой, чтобы не попасть живым в руки врага¹».

В 1893 году Юджениус Мариус женился на Анне Марии Бегер, родившейся в 1874 году в Солоке, на Суматре. Она была дочерью голландского генерал-майора. У них было шесть детей. Двое из них умерли в раннем возрасте в Индии, от малярии. Из оставшихся в живых самой старшей была дочь Анни, которая стала биологом с правом преподавания биологии в старших классах школы и в гимназии. Джордж был на пять лет младше, в семье его называли *Broer*, что значит «брат» на голландском. Он родился в Батавии (сейчас Джакарта) 6 декабря 1900 года. После него родились еще два сына, первый Виллем Жан стал инспектором железных дорог Голландии, и второй — Юджениус Мариус («Боб») стал выдающимся лингвистом, специалистом по яванскому языку и профессором в Лейденском университете. «Я думаю, что для родителей стал разочарованием тот факт, что никто из сыновей не пошел в военные училища²».

Поскольку отец был военным, то семья часто меняла место жительства. Так получилось, что Джордж начал подготовку к школе в детском саду в Падангпанджанге, на Суматре.

Ранний интерес к физике

«Один год в восточно-индийской армии считался за два года» [военной] службы, поэтому отец ушел в отставку через 20 лет, когда ему было всего 42 года. Он сделал это, главным образом, чтобы дать образование своим детям²». В 1902 году семья переехала на постоянное место жительства в Голландию и поселилась в Гааге.

«Там я ходил в начальную школу и среднюю школу [HBS, средняя городская школа, которая сейчас называется атениум]. Я был очень обязательным учеником, *очень* обязательным. Я всегда регулярно выполнял задания и был хорошим учеником в классе. И я до выпускного класса средней школы точно не знал, чем буду заниматься в будущем²».

Затем он понял. «Физика очень хорошо преподавалась в старших классах. Мой учитель был очень хорошим физиком. У него была докторская степень и опубликованные научные работы. . . Он частично повлиял на мой выбор³». Его учителем был А. Х. Боргезиус, он обсуждал с Джорджем различные научные темы и давал ему книги для изучения дифференциального и интегрального исчисления. Джордж стремился узнать больше и ездил на велосипеде в Королевскую библиотеку в Гааге. Там он «проглотил» *Lessenover de Natuurkunde* («Лекции по физике») Хендрика Лоренца, университетский учебник предвыпускного года обучения. Именно тогда зародился интерес Уленбека к кинетической теории газов.

В июле 1918 года Уленбек сдал выпускные экзамены по курсу средней школы. Но он не мог поступить в голландский университет, потому что в учебном плане его школы не было греческого языка и латыни, знание которых, по закону того времени, было необходимо для поступления на любое отделение университета. Йоханнес Ван дер Ваальс и Якоб Вант Гофф были ранее в том же положении и смогли поступить в университет лишь по специальному распоряжению правительства. По этой причине в сентябре 1918 года Уленбек поступил в *Технологический институт* в Делфте на отделение химического машиностроения. «Мне очень не нравилось в Делфте, главным образом, из-за всей этой механики, все эти лекции, которые надо было посещать, лабораторные работы по химии, я вовсе не преуспевал по всем этим дисциплинам. Мне они не нравились²». Младший брат Джорджа написал мне, что семья считала Джорджа неуклюжим, когда он был молодым человеком⁴.

Почти сразу же после прибытия Уленбека в Делфт, в Голландии был принят новый закон, известный как лимбургский *Wet* (что значит «закон»). Этот закон отменял требование обязательного знания латинского и греческого языков для поступления в университет на отделение точных наук. В январе 1919 года Джордж уехал из Делфта и был зачислен в Лейденский университет на отделение математики и физики. В то время профессорами физики в Лейдене были П. Эренфест, Хайке Камерлинг Оннес и Квенен. Каждый понедельник из Гарлема приезжал Хендрик А. Лоренц читать лекцию по физике.

На протяжении выпускных лет Уленбек ездил в Лейден из Гааги поездом. Мама давала ему с собой завтрак и *kwartje* (25 центов) на кофе. Он сэкономил деньги и однажды приобрел себе подержанную книгу «Лекции по теории газов» Больцмана. Он обнаружил, что ему трудно разобраться с этими лекциями. Вскоре его зять, химик, познакомил его с энциклопедической статьей по статистической механике, написанной П. и Т. Эренфестами⁵. «Это было откровением, я начал понимать, о чем говорит Больцман». (Цитаты без номера взяты из частных бесед с Уленбеком.) Что касается порядков в Лейденском университете, то они идеально подходили Уленбеку.

Что касается обучения, то я находил его совершенно изумительным. Прежде всего, потому что лекций, практически, не было, просто нечем было заняться. Были лекции только по математике, аналитической геометрии, а также по вычислениям и анализу, но всего их набиралось примерно четыре часа в неделю. Два часа геометрии и два часа анализа. Потом была еще физика. Большая лекция с демонстрацией. Я считал, что она скучна, и не посещал ее. Я не был обязан посещать лекции. Я имею в виду то, что никто не отмечал посещаемость, никто никакой ответственности за студентов не нес. . . Мы решали задачи в классе, но никто не задавал домашние задания. . . И мне это, конечно же, нравилось. К нам всегда относились как к взрослым людям. Студент сам мог взять на себя ответственность и ставить перед собой задачи. . . Был один человек, который проводил специальный курс по основам анализа. И я считал его просто чудесным. . . , потому что он был очень точным³.

Джордж хотел стать физиком-теоретиком, но это также требовало выполнения им некоторой экспериментальной работы.

Необходимо было выполнять практическую работу, заданный набор экспериментов. Но поскольку я был студентом первого курса, то мне разрешалось заниматься этим лишь один день. Для меня это было прекрасно. Так что у меня было много свободного времени. Эренфест основал там библиотеку. Я совсем не общался с ним, но самостоятельно я изучал теорию газов Больцмана и, насколько я помню, механику в нужном мне объеме. Это было просто великолепно. . . Во время второго года обучения приходилось проводить за экспериментами два, а то и три дня в неделю, потому что необходимым требованием к экзамену было проведение установленного количества экспериментов. По результатам экспериментов необходимо было представлять письменные отчеты. Эти эксперименты были для меня очень интересны, главным образом, потому что в них было много формул. Нужно было закладывать экспериментальные значения, а затем проверять, что получалось в результате. Темой была дифракция, и не только. Я тогда много для себя узнал. Если я не ошибаюсь, требовалось провести около сорока экспериментов. Для каждого из них была расписана программа с формулами

и всем остальным, что требовалось использовать. По каждому эксперименту надо было написать маленький отчет. Я очень серьезно относился к этим отчетам, потому что, как я уже говорил, я был очень обязательным. Я выводил все эти формулы; я хотел вывести их все без исключения. Это одна из причин, по которой я занялся максвелловской теорией. Я описывал все детали. Этим я произвел хорошее впечатление на Квенена. Он замечал подобные вещи, и в результате, благодаря его усилиям, на третьем курсе я получил так называемое членство, что было исключительной честью в те дни. Это членство было государственным, что означало освобождение от платы за обучение, и это было подарком для моих родителей³.

По поводу экзаменов:

Весь метод обучения сводился к сдаче двух экзаменов. Один экзамен назывался «кандидатским» и сдавался через два или три года. А еще через два или три года сдавался экзамен на степень *doctorandus*. И между ними никаких экзаменов не было! Не было и обязательного посещения курсов или чего бы то ни было. Конечно же, студент знал то, что требовалось знать. А знать требовалось, в основном, содержание лекций. Но независимо от того, посещали вы их или нет, всегда находился кто-то, кто их не только посещал, но и писал конспекты.

Я сдал кандидатский экзамен в конце второго года обучения, и для меня это было ужасно тяжело. Экзамен состоял из отдельных устных экзаменов по разным дисциплинам. Чтобы сдать экзамен по анализу, необходимо было подойти к профессору, договориться о встрече, а во время устного собеседования, продолжавшегося примерно полчаса, отвечать на разные вопросы. То же самое по геометрии. То же самое по физике, по общему курсу и по термодинамике. Под таким давлением напряжение нарастало. Надо было знать все одновременно. . . Такое сваливание всего в одну кучу было, конечно же, неприятным. . . Я вовремя сдал экзамен [в декабре 1920 года], но после него я почувствовал очень сильную усталость, я переутомился^{2,3}.

Эренфест

Будучи выпускником, Уленбек подрабатывал, преподавая в средней школе Лейдена. У него было десять уроков в неделю. Ему трудно доставалась дисциплина на уроках, главным образом, из-за любящих пофлиртовать молодых девушек. «Я преподавал, в основном, из-за денег, потому что вообще-то ненавидел это занятие. . . Я в то время переселился в Лейден, и уроки давали мне средства оплачивать комнату³».

Но эта преподавательская деятельность не отвлекала его от учебы. Он посещал курсы Эренфеста и Лоренца, а также прославленные «коллоквиумы Эренфеста», проводившиеся по средам вечером. Их можно было посещать только по приглашению, но если вы оказывались в числе приглашенных хотя бы раз, то необходимо было посещать их регулярно. Эренфест даже отмечал посещаемость.

Эренфест, вне всякого сомнения, был самой важной научной фигурой в жизни Уленбека. На протяжении всех лет, что я знал Уленбека, на его столе всегда стояла единственная фотография. Это была маленькая фотография тепло улыбающегося Эренфеста. Она была с ним в Утрехте, в Энн Арборе и Нью-Йорке. В 1956 году, после получения Уленбеком медали им. Эрстеда от Американской ассоциации учителей физики, он публично выразил почтение и благодарность своему уважаемому и любимому учителю, чья жизнь к тому времени уже давно трагически оборвалась. В своей ответной речи он вспомнил некоторые характерные для Эренфеста высказывания:

«*Was ist der Witz. . . ?* («Вы говорите об этом, чтобы тщательно рассмотреть это, или только потому, что это вдруг оказалось истинным»?) *Weshalb habe ich solche gute Studenten? Weil ich so dumm bin.* (Почему у меня такие способные студенты? Потому что я так глуп.)»

Уленбек описал также типичные черты стиля Эренфеста при чтении лекции и проведении семинаров:

Сначала суждение, потом доказательство. . . Его знаменитая ясность слога, которую не нужно путать с высоким требованием к стилю. . . Он никогда не давал и не составлял задач; он не верил в них; по его мнению, единственные задачи, которые заслуживают того, чтобы их рассматривать, это те, что вы предлагаете сами. . . Он работал лишь с каждым индивидуально, и это, практически, каждый день. . . Поначалу в конце учебного дня студент смертельно устал.

Позднее Джордж добавил к своим высказываниям об Эренфесте следующее:

Я думаю, что Эренфест создавал исключительно здоровую учебную атмосферу. Он не терпел ничего заученного; если вы не могли объяснить что-то просто, если вы отклонялись от темы, он просто не хотел этого слышать. Когда студент был многоречив и его рассказ звучал заученно, он немедленно это высмеивал. В результате этого и вследствие того, что он был, наконец, тем, чье влияние на меня было *наибольшим*, мой взгляд на изучение предмета в значительной мере изменился. Я поясню: в те дни в математике я был среди тех, кто стремился к *абсолютной* строгости. Сейчас, после учебы под руководством Эренфеста, я думаю, что неукоснительная строгость — это плохо! Так что действительно злопово, что Эренфест

взял меня в руки в этом смысле. Его ассистенты иногда читали те работы, о которых он хотел составить впечатление. Потом мы должны были рассказывать ему об этих работах, используя сделанные записи. И, Боже упаси, если я отклонялся от темы или не понял главное!²

Эренфест был человеком, которому всегда приходилось самому до всего доходить. Так или иначе, у него не было определенного метода. В его руках не было ничего. Ему всегда приходилось начинать с самого начала. И хотя он знал математику, это было для него нелегко. Он не был вычислителем. Он не мог делать расчеты. Это то, чему я никогда у него не учился. Мне пришлось учиться этому позже самостоятельно⁷.

«По мере того как он становился старше, для него все труднее и труднее становилось самому до всего доходить, учить все это⁷». Приход квантовой механики создал для него проблемы.

Я думаю, он всегда это ненавидел. А тут целое новое поколение, которое пришло именно с этим. Все эти молодые люди, делавшие эти вычисления с большой легкостью, потому что это была, так сказать, данная техника, в смысл которой не было необходимости вдаваться. Вы просто делали вычисления, вам нужно было сделать одно, другое, и все получалось. Эренфест сказал: «*Diese Klugscheisser!*» [Эти самоуверенные нахалы] «Всегда были такими умниками! Но никто ничего не понимал». Что отчасти было правдой, но, в общем, конечно, несправедливо. Абстрактный математический аппарат операторов в гильбертовом пространстве был настолько против его убеждений, что я уверен, он физически страдал от этого. . . Но он все правильно понимал. Он сказал, что просто он уже слишком стар. Против его убеждений было принимать участие во всем этом. Что касается нас, то мы делали тогда все эти вычисления⁷.

Это было таким необычным, что неспособность идти в ногу со временем стала причиной глубокой депрессии Эренфеста. Но это лишь частично объясняет упадок духа Эренфеста в последние годы жизни. Он страдал и от чувства неадекватности, несмотря на ту высокую оценку, которую давали ему лучшие физики. В 1932 году он сел и написал письмо друзьям, часть которого я привожу ниже.

«Я больше не знаю, как нести свой ставшим невыносимым жизненный груз на протяжении последующих месяцев. Я больше не могу смотреть на то, как мое профессорство здесь, в Лейдене, истощается. Я ДОЛЖЕН освободить этот пост. . . У меня нет другой «практической» возможности, кроме самоубийства⁸».

25 сентября 1933 года Эренфест покончил с собой. Я никогда не обсуждал эту трагедию с Уленбеком, поскольку этот вопрос был для него очень деликатным⁹.

Давайте вернемся в начало 20-х годов. Выпускной курс Эренфеста был двухгодичным: первый год — максвелловская теория, завершающаяся электронной теорией и несколькими лекциями по относительности. Второй год — статистическая механика, структура атома и квантовая теория. Уленбек посещал эти лекции, а также проходил дополнительное обучение по курсу математики. Однажды в конце второго года выпускного курса Эренфест спросил на лекции, не желает ли кто-нибудь взяться за преподавательскую работу в Риме. Уленбек поднял руку. Так получилось, что с сентября 1922 до июня 1925 года он стал личным наставником младшего сына голландского посла ван Ройена по математике, физике, химии, голландскому, немецкому и голландской истории.

Но каждое лето Уленбек проводил в Голландии, и в сентябре 1923 года получил степень «doctorandus», которая соответствует степени магистра.

Экзамен состоял из двух частей. Первая была очень короткой, она продолжалась около часа. Эта часть была формальным опросом. Затем нужно было перейти к тому, что называлось «scriptions» (письменный ответ). Хотя сам вопрос нельзя было однозначно назвать задачей. Необходимо было написать часть экзаменационного ответа в виде задачи, а часть — в виде эссе. У меня такие экзамены были по математике и по физике. Просто давался какой-то вопрос, и у вас было три дня, чтобы написать ответ и решить эту задачу. Можно было пользоваться книгами и, конечно же, помощью друзей. Это было здорово, что такая возможность была. Помогали все, каждый старался помочь!... И, наконец, работу надо было полностью расшифровать, изложив на бумаге ход рассуждений, — вот такая физика! По математике — задача была такой сложной, что даже совместно с друзьями мы решили ее лишь наполовину. И математик Клювер, у которого были сомнения относительно меня, принял это в таком виде. Хотя он действительно был не вполне удовлетворен работой. Что касается Эренфеста, то он дал мне тему, с которой я выступал на коллоквиуме, так что я написал ее, развив дальше те же идеи. И я до сих пор помню тему — динамическая теория отражения рентгеновских лучей, которую я начал изучать в то время. Эта моя работа была безупречной.

Второй частью экзамена было обсуждение этих письменных работ, и затем экзамен считался сданным! Я получил свой диплом... по закону он требовался любому, кто собирался заняться преподаванием в средней школе. Мне было позволено преподавать математику, физику и теоретическую механику. Эти предметы всегда преподавались отдельно, даже в средней школе³.

Римский период. Ферми

Примерно в течение года после своего приезда в Рим Уленбек брал уроки итальянского языка в школе Берлитта, после чего продолжал занятия на дому — 2 урока в неделю. В конечном счете, он уже читал со своим учителем «Божественную комедию» Данте. Позднее он перечитывал ее, и я до сих пор помню, как он декламирует: *Lasciate ogni speranza...* из третьей книги «Ад». К осени 1923 года он совершенствовал итальянский язык настолько, что мог посещать математические курсы Федерико Энрикеса, Туллио Леви-Чивита и Вито Вольтерра в Римском университете. Он познакомился и с итальянскими физиками. Когда летом 1923 года он был в Голландии, Эренфест рассказал ему о молодом итальянском физике по имени Энрико Ферми, написавшем работу по эргодической теореме. Эренфест не понял ход рассуждений Ферми и попросил Уленбека передать ему письмо с вопросами. Так и случилось, что осенью 1923 года Уленбек и Ферми встретились. Ферми был на год младше Уленбека. Их знакомство переросло в дружбу, которая продолжалась на протяжении всей жизни Ферми. Ферми с Уленбеком и несколькими молодыми физиками организовали маленький коллоквиум. «Ферми был прирожденным лидером и выступал больше всех».

Джордж и Энрико, кроме того,

разговаривали обо всем, в том числе и о складывающейся ситуации в Италии, которая Ферми не радовала. Дело в том, что в то время будущего для него в Италии, практически, не было. Необходимо помнить о том, что это было время революции. Я видел, что творится в Риме. Я там был. Я слышал первые речи Муссолини, и я видел на улицах города чернорубашечников... Революционное время было волнующим временем³.

Но Джорджу совершенно не нравился фашизм.

Ферми написал свою работу по эргодической теореме в 1923 году, когда находился в Геттингене, в Германии. Этот визит подорвал его уверенность в себе. Метод обучения в Геттингене ему совершенно не подходил. Под нажимом Уленбека он отправился на три месяца в Лейден в 1924 году и даже опубликовал там свою работу на голландском языке. Уленбек сделал полезное для физики дело, когда познакомил Ферми с Эренфестом. Эренфест немало способствовал восстановлению уверенности Ферми в своих силах. О личности двух физиков свидетельствует тот факт, что голландец Уленбек познакомил Ферми, родившегося и выросшего в Риме, с микеланджеловским Моисеем в церкви Сан Пьетро в Винколи.

В 1930-е годы, когда Уленбек стал профессором в Энн Арборе, штат Мичиган, и организовывал знаменитые летние школы Энн Арбора, он фактически четыре раза пригласил Ферми читать там лекции. Лекции Ферми по квантовой электродинамике¹⁰, отредактированные Уленбеком, сыграли важную роль в распространении квантовой теории поля. Джордж рассказал мне, что Ферми готовился читать лекции на английском языке, изучая английский в школе Берлитца в Риме. В результате он мог бегло говорить по-английски, хотя и не избавился от акцента. «Finite» (имеющий пределы) звучало у него как «feeneetau». Когда лектор задавал вопрос о какой-то бесконечно большой величине («infinite»), Ферми не понимал, и Уленбеку приходилось объяснять. «A-a, — улыбался Ферми, — infeneetau». В другой летней школе они сотрудничали по вопросу изучения одноквантовой аннигиляции, $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$, если электрон связан с ядром¹¹.

Давайте вернемся в Рим. Общение с Ферми позволило Уленбеку продолжить занятие наукой во время его итальянского периода. Но наука уже не была в центре его внимания. Джорджа глубоко заинтересовала история, особенно история культуры. Он регулярно приходил в Нидерландский исторический институт в Риме, помогал своему соотечественнику и ровеснику Иоганну Квири-ну ван Регтерен Алтена (который позднее стал профессором по истории искусства в Амстердаме и был первым профессором по Эразму в Гарварде); изучал работы Иоганна Хвизинги, профессора Лейдена, и других историков, занимающихся историей культуры. Первой опубликованной статьёй была статья на историческую тему, и написана она была на голландском языке¹². В этой статье Уленбек пишет о голландце Йоханнесе Хеккиусе, который был одним из четырех основателей Академии деи Линчеи в Риме в 1603 году.

Позднее Уленбек скажет о своем увлечении историей:

Я *полностью* отошел от физики; я совсем не занимался физикой, потому что ничего не знал. В течение моего второго года в Риме я все еще встречался с Ферми, но позднее наши встречи прекратились. Занятия людей, с которыми я общался позднее, были совершенно иного направления. Поэтому изучение физики как-то прекратилось, и я целый год даже не читал ничего по физике. Конечно, у меня была работа, которую я выполнял, и легко с этим справлялся. А читал я Якоба Буркхардта и Теодора Моммсена, а также историю искусства. У меня был очень хороший друг, который занимался историей культуры. Мы часто встречались, и я целый год провел, занимаясь

с ним историей. Так что в конце года я уже не знал, что мне, вообще, делать дальше. Слава Богу, я вернулся в науку благодаря тому, что не знал латыни и греческого. И если я хотел заниматься историей, а в то время я очень этого хотел, то должен был выучить их. Большое влияние на меня оказали книги Хвизинги, которые я тогда считал выдающимися².

Когда в середине июня 1925 года Уленбек окончательно уехал из Рима и вернулся в Голландию, он всерьез думал о том, чтобы бросить физику и стать историком. Он позвонил в Лейден Хвизинге, который тепло его принял, а затем обсудил этот вопрос со своим дядей, выдающимся лингвистом Кристианом Корнелиусом Уленбеком, профессором по санскриту и сравнительной лингвистике в Лейдене, а также экспертом по языкам эскимосов и индейского племени черноногих.

Я до сих пор помню наш разговор об этом с дядей (он, в действительности, был двоюродным братом отца Уленбека). Он был очень высокого мнения о Хвизинге и знал его хорошо, поскольку был его коллегой в Лейдене. Он сказал: «Да, это прекрасно, но тебе придется выучить латинский и греческий». Так я начал учить латинский язык. Сразу же по приезде я начал брать уроки, но мой дядя сказал: «Все-таки попробуй получить докторскую степень по физике, потому что это, так сказать, выглядит более практичным». Я отправился к Эренфесту, и он сказал: «Ладно»².

Эренфест благосклонно относился к историческим проектам Джорджа, но предложил ему сначала выяснить, что происходит в физике. Он предложил Уленбеку поработать немного с ним и, кроме того, узнать от Гаудсмита о состоянии дел в *Spectralzoologie* (спектральной зоологии), как Паули называл изучение спектров. Уленбек принял оба предложения и в то же время договорился об уроках по латыни со своим другом в Гааге. Его работа с Эренфестом по волновым уравнениям в многомерных пространствах (особое внимание уделялось разнице между четным и нечетным числом пространственных измерений) привела к математической работе¹³, за которой последовала совместная статья с Эренфестом¹⁴. Уленбеку нравилось это сотрудничество. Нравилось оно и Эренфесту, назначившему Джорджа на должность своего ассистента после математика Дирка Струйка. Джордж был ассистентом Эренфеста в течение двух лет.

На протяжении лета 1925 года Гаудсмит приходил на Любекштраат в Гааге, в дом родителей Джорджа, чтобы дать Джорджу знания по спектрам. Позднее Уленбек называл этот период «летом Гаудсмита». «Тем летом я еще начинал заниматься латинским языком, но вскоре дел стало так много, что я уже и не вспоминал про латынь, и вся эта затея подошла к концу»².

Главной причиной такой перемены в настроении было открытие спина, которое сделали в середине сентября 1925 года doctorandus Уленбек и выпускник университета Гаудсмит.

Открытие спина

Сэмюэл Абрахам Гаудсмит — для друзей просто «Сэм» — родился в 1902 году в Гааге. Он был сыном преуспевающего оптового торговца оборудованием для ванных комнат. Его матери принадлежал модный магазин шляп. Впервые он увлекся физикой в возрасте 11 лет, когда при чтении одного физического текста был потрясен тем, как спектроскопия показала, что звезды состоят из тех же элементов, что и Земля. Как вспоминал Гаудсмит: «Водород в составе Солнца и железо в составе Большой Медведицы сделали для меня небо уютным и близким¹⁵». После окончания средней школы на год раньше, чем положено, он стал студентом Лейденского университета, где Эренфест превратил его интерес к физике в преданность этому предмету. Вскоре стало очевидным, что Гаудсмит склонен, отталкиваясь от эмпирических данных, мыслить скорее интуитивно, чем аналитически. Уленбек сказал о нем: «Сэм никогда не был явно размышляющим человеком, но у него был удивительный талант взять наугад данные и придать им направление. В криптограммах он был волшебником¹⁵». И. И. Раби выразил это так: «Он мыслит, как детектив. Он и есть детектив¹⁵». И действительно, Гаудсмит как-то прошел курс по сыскной работе, во время которого учился определять отпечатки пальцев, подделки, следы крови. Двухгодичный курс университета научил его читать иероглифы. В физике его страстью стало расшифровка спектров. В возрасте 19 лет он написал свою первую работу по дублетам щелочных металлов¹⁶. Уленбек назвал эту работу «самой бесцеремонной демонстрацией самоуверенности, которая, однако... была в высшей степени похвальной¹⁵».

Сэм не был обязательным студентом. Он никак не мог сдать экзамен. Он не сдал даже экзамен на получение степени магистра, которую я получил несколькими годами раньше. Причина была в том, что он боялся профессора по механике. Это выяснилось случайно весьма интересным образом. Нам пришлось нажать на него, чтобы он решился его сдавать. Эренфесту это удалось сделать лишь тогда, когда он разрешил ему отказаться от математики, вернее, от механики в качестве дополнительной дисциплины. Но две дополнительных дисциплины были обязательным требованием, так что он взял экспериментальную физику и астрофизику. В то время это было, естественно, очень странным, потому что в результате ему не позволялось преподавать механику или математику в голландской

средней школе. Но, конечно, в Энн Арборе, он был единственным, кто всегда читал курс по теоретической механике. . . Он всегда читал этот курс с большим удовольствием, а я всегда подшучивал над ним, говоря, что он не имеет права его читать. В соответствии с голландскими законами он не мог преподавать механику. Так или иначе, но он опубликовал несколько работ. Он знал Гейзенберга и Хунда, и он, естественно, замечательно знал спектроскопию. . . Она была его специальностью. Особенно, когда нужно было дать формальную математическую трактовку, просмотреть экспериментальный материал с точки зрения чисел и найти закономерности. В этом он был признанным мастером¹⁷.

Когда Сэм впервые приехал в Копенгаген, Нильс Бор пригласил его в музей *Glyptotek* посмотреть коллекцию египетских скульптур. Когда Бор начал переводить ему надписи к экспонатам, сделанные на датском языке, Сэм спокойно сказал ему, что в этом нет необходимости, поскольку он может читать иероглифы.

В августе 1925 года Уленбек и Гаудсмит начали регулярно встречаться в Гааге. Но «Гаудсмит этой осенью не был со мной все свое время. Я был ассистентом Эренфеста, а Гаудсмит был ассистентом Питера Зеемана в Амстердаме. Три дня в неделю он проводил в Амстердаме, а затем приезжал в Лейден на коллоквиум и оставался на несколько дней¹⁷». Между тем, их сотрудничество продолжалось. Джордж был в большей степени аналитиком, он лучше знал теоретическую физику, был новичком в физических исследованиях и, кроме того, честолюбиво относился к своим занятиям историей, он уже имел работу о Хеккиусе с похвальными отзывами о ней. Сэм был детективом, в вопросе о спектрах он чувствовал себя как дома (у него уже было несколько опубликованных на эту тему работ), он был уже известен в физических кругах. Потребовалось немного времени на то, чтобы наставничество Гаудсмита над Джорджем превратилось в совместную работу и публикацию, и они надолго стали друзьями. Из собственных дружеских бесед с ними обоими мне в гораздо большей степени, чем из их работ^{18,19,20,21}, известно, насколько признательны они были друг другу за совместную работу в течение тех месяцев. И это не было простой вежливостью, они действительно ценили друг друга.

Среди тем, с которыми Гаудсмит знакомил Джорджа тем летом, была и теория Альфреда Ланде об аномальном эффекте Зеемана, о тех самых расщеплениях спектральных линий, которые не укладываются в модель, предложенную гораздо раньше Лоренцом на основе классической теории. В 1921 году Ланде обнаружил, что можно объяснить эти аномалии при помощи нового и смелого предположения, смысл которого состоял в том, что квантовые числа углового момента могут принимать полужелые значения.

Сэм рассказывал историю о том, как Гейзенберг в своей первой опубликованной работе на эту тему пошел дальше, предположив, что в щелочных металлах как валентный электрон, так и атомный остов (атом без валентного электрона) имеют угловой момент $1/2$ (в единицах, равных $\hbar/2\pi$), как Ланде вывел отсюда, что для остова g должно иметь значение 2 вместо предсказываемого классической теорией значения 1; как затем Паули показал, что атомный остов обладает нулевым угловым моментом. Гаудсмит рассказывал, как он сам написал, что $g = 2$ Ланде «абсолютно непонятно», но что, используя это предположение, тем не менее, «полностью усваиваешь обширный и сложный материал по аномальному эффекту Зеемана²²»; как вслед за этим Паули (январь 1925 г.) предложил придать новое, четвертое квантовое число с полуцелым значением не атомному остову, а самому электрону, и как он в итоге пришел к открытию своего принципа запрета.

Другим предметом уроков Сэма были формула Арнольда Зоммерфельда для тонкой структуры спектра водорода: почему она очень хорошо работала, почему здесь не было проблем с эффектом Зеемана, который тогда в эксперименте казался нормальным (хотя, конечно, таковым не был).

Джордж был недоволен. «Он ничего не знал и задавал всевозможные вопросы, такие, какие я бы никогда и не задал», — позднее вспоминал Гаудсмит¹⁸. Почему две различные модели, если щелочные металлы и водород так похожи? Почему бы не попробовать и на водороде полуцелые квантовые числа? Когда я спросил Уленбека, что же натолкнуло его тогда на эту мысль, он ответил, что это были просто догадки с его стороны и со стороны Гаудсмита. Он напомнил мне, что игра с полуцелыми значениями для квантовых чисел для эффекта Зеемана имела место и раньше. Кроме того, Уленбек добавил, что, когда они рассказали об этой идее Эренфесту, он отнесся к ней с сомнением, но предложил им написать небольшую статью. Они согласились. Это была их первая совместная работа²³, отличный вклад в науку, хотя и малоизвестный, поскольку работа была написана на голландском языке. В ней они видоизменили данное ранее Зоммерфельдом распределение квантовых чисел и описали усовершенствованный подход к тонкой структуре спектра He^+ . Уленбек назвал эту работу августовской.

Гаудсмит написал о том, что произошло далее: «Нашей удачей было то, что когда мы углубились в изучение структуры атомных спектров, появившаяся идея о спине привела к пониманию смысла релятивистских дублетов, и сразу после этого мы пришли к правильной трактовке спектра атома водорода¹⁹». Уленбек вспоминал: «Именно тогда мне пришло в голову, что, поскольку (как

я узнал) каждое квантовое число соответствует какой-то степени свободы электрона, четвертое квантовое число Паули должно означать, что электрон обладает дополнительной степенью свободы, — другими словами, электрон должен вращаться!²⁰».

Все становилось на свои места. Электрон обладал спином $1/2$, а выведенный Ланде множитель $g = 2$ относился к самому электрону!

Сэм спросил, нельзя ли придать физический смысл значению g ²⁰. Следуя совету Эренфеста, Джордж нашел старую статью Макса Абрагама²⁴, в которой говорилось, что электрон, рассматриваемый как твердая сфера с зарядом, сосредоточенным только на ее поверхности, имеет $g = 2$. Все это было дополнено кратким примечанием, включающим модель Абрагама, но с предостережением: если принять эту модель для объяснения $g = 2$, то в предположении, что электрон — это протяженное тело с «классическим радиусом» e^2/mc^2 , периферийная скорость его вращения получается больше скорости света.

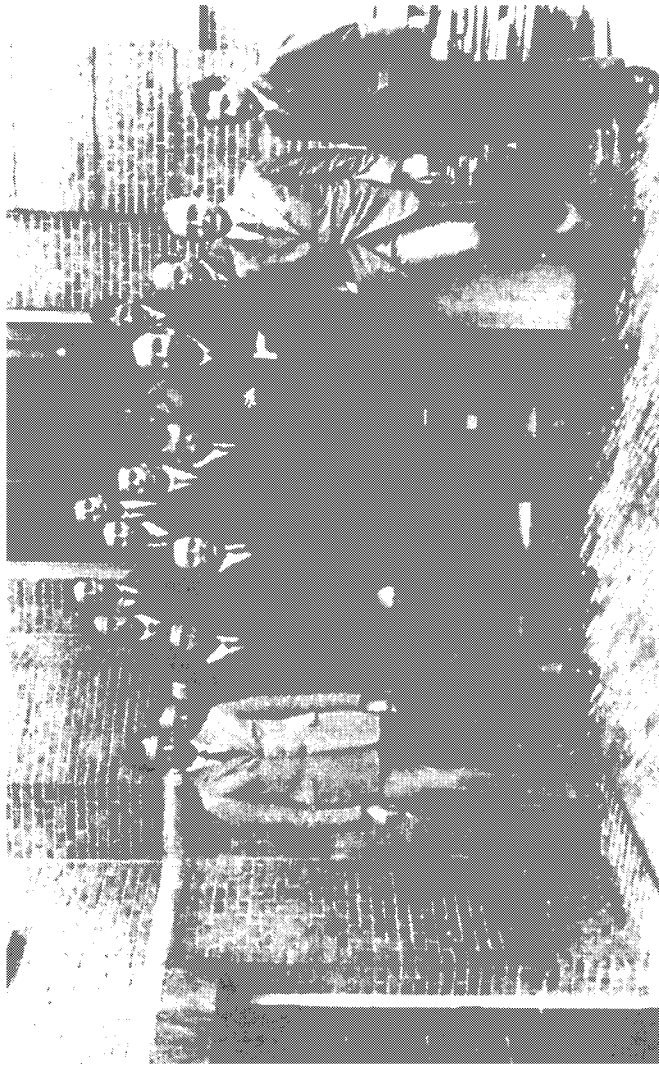
Этот последний комментарий крайне важен. Он проясняет, что открытие спина, сделанное после того как Гейзенберг уже опубликовал свою первую работу по квантовой механике, было продвижением вперед в духе *старой* квантовой теории, этой удивительно причудливой смеси классического рассуждения и *специально выведенных* квантовых законов.

Уленбек и Гаудсмит были соавторами этого опубликованного открытия, но имя Уленбека стояло первым, а Гаудсмита — вторым. Джордж сказал мне, что такой порядок предложил Эренфест, потому что иначе сложилось бы впечатление, что Джордж — это лишь студент Гаудсмита. Сам Сэм тоже предпочел быть вторым, потому что первая идея о спине принадлежала Уленбеку.

Открытие датируется 17 октября 1925 года. На день раньше Эренфест написал Лоренцу, попросив его высказать «свое мнение по поводу *весьма* разумной идеи Уленбека относительно спектров²⁶».

Лоренц уже вышел на пенсию. Он возглавлял Тейлеровский институт в Гарлеме, что было, в общем-то, работой для пенсионера. . . Он жил в Гарлеме, но каждый понедельник с 11 до 12 читал лекцию в Лейдене. Посещать ее было обязательно. Эренфест просто вынуждал к этому. Люди приезжали отовсюду. Обычно Лоренц говорил о своей недавней работе или о новинках литературы. Эти лекции всегда были прекрасны, всегда. Как бы то ни было, это была причина его приезда в Лейден.

В один из таких понедельников мы встретились с Лоренцом и рассказали ему о своей идее. Лоренц отнесся к этому немного сдержанно, хотя и не отговаривал нас. Он сказал, что это интересно и что он подумает над этим. Он, естественно, сразу же вспомнил об Абрага-



В лаборатории Камерлинга Оннеса в Лейдене, 1926 год. Уленбек крайний слева, Гаудемит крайний справа, рядом с Крамерсом. Эрэнфест справа от своей жены и чуть поодаль от группы. Поль Дирак в темном костюме слева. (С любезного разрешения Американского института физики, библиотека Нильса Бора, коллекция Уленбека)

ме и считал, что надо сделать кое-какие вычисления. И он сделал их. То, что он немедленно сделал объемные вычисления по классической теории вращающихся электронов, было характерно для Лоренца. По-моему, уже на следующей неделе, или через две недели, он отдал мне стопку бумаги с длинными вычислениями. Я до сих пор помню, что это были большие листы белой бумаги. Он пытался объяснить нам, но для нас это было таким высоконаучным. . . Он, кстати, опубликовал их. Это было последней публикацией Лоренца и его вкладом в конгресс в Комо в сентябре 1927 года²⁷.

Единственное, что было понятно из его объяснения, единственное, что я действительно помню, это то, что он указал на знаменитую проблему — магнитная энергия получалась слишком большой. Суть объяснений Лоренца состояла в том, что вращающийся электрон должен иметь магнитную энергию порядка μ^2/r^3 , где μ — его магнитный момент, а r — его радиус. Приравняйте эту энергию к mc^2 . Тогда r будет порядка 10^{-12} см, слишком большим, чтобы оставаться в рамках здравого смысла. [Через много лет позитронная теория выявит слабое место этого аргумента.]

И мы рассказали обо всем этом Эренфесту. Я очень хорошо это помню. Мы рассказали об этом Эренфесту. Лоренц был, конечно, почти богом, для Эренфеста в том числе, и, конечно, для всех в Голландии. Его мнение обладало непререкаемым авторитетом. «Лоренц показал нам, что это ерунда». И мы сказали Эренфесту, что нам лучше не публиковать эту заметку. А Эренфест сообщил нам, что несколько недель назад отослал рукопись в редакцию и что на следующей неделе она уже должна появиться в печати! А потом он добавил — я не знаю, помнит ли об этом Сэм, но я помню, — «Ну что же, Sie beide sind jung; Sie können eine Dummheit leisten!» [Вы оба молоды, вы можете позволить себе глупость]¹⁷.

Не успела статья Джорджа и Сэма появиться, как Гаудсмит получил письмо от Гейзенберга, который поздравлял его с его «mutige Note» [смелой работой] и спрашивал, «wie Sie Faktor 2 losgeworden sind» [как он избавился от множителя 2] в формуле для тонкой структуры спектра водорода, полученной из полуклассической трактовки прецессии спина²⁸. Молодые лейденцы даже и не думали о вычислении этого расщепления. После нескольких попыток они признали, что Гейзенберг был прав: тонкая структура выходила слишком большой, в 2 раза больше. Когда в 1925 году Нильс Бор приехал в Лейден на празднества, посвященные золотому юбилею степеней доктора Лоренца, эта задача все еще оставалась нерешенной. «Бор приехал и, как всегда, остановился в доме Эренфеста¹⁷». Однажды, поздним вечером 1946 года Бор рассказал мне, что происходило во время этой его поездки.

Поездка Бора

Поезд, которым Бор ехал в Лейден, останавливался в Гамбурге. Там его встретили Вольфганг Паули и Отто Штерн, которые пришли на железнодорожную станцию специально, чтобы поинтересоваться у него, что он думает по поводу спина. Бор, должно быть, сказал, что это очень интересно (его любимый способ выразить свое неприятие чего-либо), но что он не может понять того, как электрон, движущийся в электрическом поле ядра, может испытывать на себе влияние магнитного поля, необходимое для образования тонкой структуры. (Уленбек позднее признал: «Я должен сказать, ретроспективно, что мы с Сэмом, в своей эйфории, действительно недооценили эту основную трудность»²⁰.) В Лейдене Бора встречали Эренфест и Альберт Эйнштейн, которые спросили его, что он думает о спине. Бор, должно быть, сказал, что это очень и очень интересно, но как быть с магнитным полем? Эренфест ответил, что Эйнштейн уже решил этот вопрос. Электрон, в связанной с ним системе координат, испытывает влияние вращающегося электрического поля; следовательно, согласно элементарной относительности, он также испытывает на себе и влияние магнитного поля. Суммарным результатом является эффективная спин-орбитальная связь.

Бора это сразу убедило.

У нас с Бором тогда были долгие беседы, которые заняли не одно утро. . . Я помню, как мы рассказали ему о том, что сказал Лоренц. Он ответил: «Конечно, это не является классическим, поэтому не нужно рассуждать об этом с этой точки зрения! Он, конечно, был обеспокоен. Он всегда беспокоился по поводу трудностей, но у него было чувство, что это является ответом на многие из этих трудностей. . . Мы рассказали ему и о вычислениях Гейзенберга, о множителе 2 и о многом другом¹⁷».

По совету Бора, Сэм и Джордж написали более подробную статью на эту тему в письме в *Nature*²⁹, к которому Бор добавил одобряющий комментарий. «Что касается письма в *Nature*, то, насколько я помню, его писал, главным образом, он. . . Мы работали над ним очень мало. . . , но стиль письма явно принадлежит Бору. Насколько я помню, я не написал ни слова этого Письма¹⁷».

Из Лейдена Бор отправился в Геттинген. Там на станции его встретили Гейзенберг и Паскуаль Иордан, которые спросили, а что он думает по поводу спина. Бор ответил, что это действительно большой шаг вперед, и объяснил то, что касалось спин-орбитальной связи. Гейзенберг заметил, что он уже слышал об этом от кого-то, но не может вспомнить, когда и от кого. (Я еще коротко вернусь к этому моменту.) Когда Бор направлялся домой,

во время стоянки поезда в Берлине к нему подошел Паули, проделавший неблизкий путь из Гамбурга с одной единственной целью, спросить Бора о том, а что сейчас он думает о спине. Бор ответил, что это большой шаг вперед, на что Паули сказал: «Eine neue Kopenhagener Irrlehre» (новая копенгагенская ересь). Вернувшись домой, Бор написал Эренфесту, что он стал «пророком магнитного евангелия электрона»³⁰.

Я завершу рассказ о спине несколькими отдельными комментариями.

- 1) На юбилее Лоренца было создано общество им. Лоренца, и Сэм стал одним из его первых членов. [Он отправился в Копенгаген] и работал там с Бором над спектром гелия, увы, безуспешно. . . В это время в Копенгагене был также и Томас. У Томаса был этот коэффициент два. Его работа была для того времени такой высоконучной. Он и сам был выдающимся человеком. Тогда он прочитал лекцию об этом в Лейдене. Мне она хорошо запомнилась еще и тем, что он не мог писать на доске. Для него это было просто невозможно. Все вышло таким огромным! Лекция была необыкновенной. Крамерс после этого попытался значительно упростить содержание работы Томаса. Как бы там ни было, нам с Гаудсмитом это удалось. И тогда мы написали свою третью работу³¹ о спине, которая не получила такой известности, поскольку была на голландском языке¹⁷.

В феврале 1926 года именно Ллевеллин Хиллет Томас обеспечил³² теорию таинственным коэффициентом 2, известным с тех пор как коэффициент Томаса. Томас отмечал, что ранее вычисления прецессии спина электрона выполнялись в связанной с ним системе координат, без учета прецессии электронной орбиты вокруг нормали к ее плоскости. Включение этого релятивистского эффекта снизило угловую скорость электрона относительно ядра на нужный коэффициент два. «Даже знатоки релятивистской теории (включая Эйнштейна) были поражены²⁰». 20 февраля 1926 года Бор написал почти одинаковые письма³³ Гейзенбергу и Паули. «Мы почувствовали, что это маленькая победа. . . , по крайней мере, эти затруднения с часто обсуждаемым коэффициентом два оказались лишь кажущимися. . . Томас, молодой англичанин, который был здесь на протяжении последних шести месяцев, открыл, что сделанные прежде вычисления, возможно, содержат ошибку».

- 2) Что касается предшественников. Еще в 1900 году Фицджеральд поднял вопрос о том, вызывается ли магнетизм вращением

электронов³⁴. В 1921 году подобная идея была у Артура Комптона: «За ферромагнетизм отвечает электрон, вращающийся вокруг своей оси. . . Сам электрон, вращающийся подобно крохотному гироскопу, является, возможно, основной магнитной частицей³⁵». То же самое предположение было высказано в 1922 году Кеннардом³⁶, который сделал такие же вычисления, как у Абрагама²⁴ (о которых он не знал), показавшие, что электрон мог иметь $g = 2$. Во всех этих случаях электроны представлялись вращающимися жесткими телами с конечным размером, в комптоновском случае, с квантованным угловым моментом.

- 3) В августе 1924 года (до четвертого квантового числа и принципа исключения) Паули предложил³⁷ объяснение сверхтонкой структуры: «Ядро обладает в общем ненулевым угловым моментом. . . В будущем можно надеяться узнать что-нибудь [из этой гипотезы] о структуре ядра». Я слышал, как это называли первым предположением о спине. Я не могу с этим согласиться, хотя высоко оцениваю эту работу Паули. Сам Паули позднее сказал об этой работе: «Еще в 1924 году, до того как был открыт спин электрона, я предложил использовать предположение о ядерном спине. . . , что повлияло на заявление о спине электрона, сделанное Гаудсмитом и Уленбеком³⁸». Мне кажется, что использование Паули термина «спин ядра» является одним из многих примеров приспособления языка к более позднему использованию. Что касается влияния на открытие спина электрона, то Гаудсмит пишет: «Мы узнали об этой работе лишь пять лет спустя³⁹». Более подробное обсуждение этого вопроса вы найдете в работе⁴⁰.
- 4) В марте 1926 года Крамерс получил письмо из Америки⁴¹ от Ральфа Кронига, молодого доктора Колумбийского университета, который учился два года в Европе. С января по ноябрь 1925 года он проходил учебу в Копенгагене. Крониг напомнил Крамерсу о том, что еще до Уленбека и Гаудсмита у него, Кронига, уже была идея о спине, хотя ему тоже не хватало множителя 2 в тонкой структуре, и что они с Крамерсом обсуждали эти вопросы в Копенгагене. Когда Гейзенберг сказал, что он уже слышал историю о спине, это относилось как раз к разговору с Кронигом. Возвратимся к письму Кронига. Он написал Крамерсу, что не опубликовал свою идею, потому что «Паули высмеял ее, сказав, что «это, конечно, очень умно, но не имеет ничего общего с реальностью». И добавил: «В будущем я буду в большей степени доверять своему мнению, и в меньшей — мнению всех остальных».

После того как Крамерс рассказал эту историю Бору, Бор написал Кронигу, выражая свое глубокое сожаление по поводу случившегося⁴². Крониг ответил: «Мне вообще не нужно было упоминать об этом [Крамерсу], если уж я сделал попыт-

ку спросить мнение физиков проповедующего типа, которые всегда так чертовски уверены в правильности собственного мнения и надуты им⁴³». Он попросил Бора не предавать этот факт гласности, поскольку «Гаудсмит и Уленбек не будут этому рады». Крониг был выдающимся физиком и джентельменом. Таким был и Уленбек. Он писал: «Нет сомнения в том, что Ральф Крониг превзошел то, что явилось основной частью наших идей²⁰». Определенно, этот эпизод послужил причиной того, что открытые спина так и не было удостоено Нобелевской премии⁴⁴. Мне нравятся слова Томаса¹⁸ по поводу роли Паули в этом деле, которые он сказал Гаудсмиту: «Это показывает, что непогрешимость Божества не простирается на его самозванных наместников на земле».

Тем вечером в Карлсберге, когда Бор вспоминал о своей поездке в 1925 году, он рассказал мне эту историю. Я хорошо помню, как сказал Бору, что испытываю глубокое сочувствие к Кронигу. Я никогда не забуду ответ Бора, который в то время поразил меня. Он сказал, дословно: «Нет, Крониг был дураком», объяснив, что если ты убежден в своих идеях, надо их публиковать, а не слушать то, что говорят по этому поводу другие. Я никогда не излагал в печатном виде слова Бора из уважения к Кронигу, который умер недавно. Сейчас я думаю, что должен сказать о них, потому что они были уроком для меня и могут послужить уроком для кого-нибудь другого. Моим собственным убеждением стало то, что лишь по опубликованной работе выносятся окончательное решение и проводится окончательный анализ.

Приходится выбирать между преклонением перед авторитетами и решением идти своим путем. Не раз этот выбор оказывал влияние на человеческие судьбы, и не раз это еще произойдет. И еще не раз будут спорить о том, кому принадлежит пальма первенства неопубликованного открытия. Что касается открытия спина, то следует добавить, что и у других такая идея была, и она также не была опубликована. Гарольд Юри высказал такую идею для электрона⁴⁵, а Бозе (в 1924 году) — для фотона.

Первые встречи с Паули, Клейном и Оппенгеймером

Работа Уленбека–Гаудсмита по спину была представлена в октябре 1925 года, через три месяца после первой работы Гейзенберга по квантовой механике (июль 1925 года) и на три месяца раньше первой работы Шредингера по волновой механике. Когда появился спин.

Мы знали о первой работе Гейзенберга, но то, как он использовал матрицы было абсолютно — по крайней мере, для меня, — абсолютно необычным. . . Однако все, что делал Гейзенберг, необходимо было воспринимать всерьез, потому что Гейзенберг, Паули и, конечно же, Бор были богами. Они знали все. . . И это изменило ситуацию со Шредингером³. . . Весной 1926 года мы с Эренфестом крайне напряженно работали над уравнением Шредингера⁴⁶.

Джордж сказал мне: «Уравнение Шредингера принесло большое облегчение, потому что нам не нужно было больше изучать странную математику матриц».

Весной 1926 года Уленбек сделал первые вычисления по волновой механике, «но я допустил ошибку. . . Эренфест не смог ее найти. Он сказал: «Запиши это все аккуратно». Затем он отослал мои записи Паули, подписав внизу: «Bitte, handle die Tiere sanft.»⁷ (пожалуйста, будь со зверями поласковой)». И отношение Паули действительно не было суровым⁴⁷.

Мы можем судить о личности как Уленбека, так и Паули по воспоминаниям Джорджа:

В глубине души он действительно был дружелюбным парнем. Он был человеком, который в молодости всегда — и это было абсолютно очевидно, по крайней мере, для меня — старался разглядеть в человеке его чувствительные точки. Если он их находил, то, естественно, давил на них. Если не находил, тогда внимательно смотрел на то, как человек реагирует на его слова, задевают они его или нет. Мне всегда становилось смешно, потому что я видел, что он пытается сделать. Я помню, в Энн Арборе, когда я сказал ему «ja» (да), я работал над броуновским движением. Паули заметил: «Безрассудная физика! Типичная физика безумия!» И потом посмотрел на меня. Я сказал: «*Es ist schon war, es ist schon war*» [Несомненно, так оно и есть]. Он увидел, что меня это несколько не затрагивает, потому что я понимал, что так оно и есть. Позже он сказал [моей жене]: «Да, да, этот Уленбек крепкий орешек, потому что он не смог вывести меня из себя. Он был очаровательным человеком⁷».

До самой смерти Паули уважал Уленбека, и это уважение было взаимным⁴⁸. В 1930-х годах они переписывались по научным вопросам⁴⁹.

Затем, и это очень важно, в Лейден, в общество Лоренса приехал Оскар Клейн³. Клейн был шведским физиком, тогда ему было тридцать с небольшим. «Мы жили в одном доме. . . Мы с ним все время

беседовали. Каждый день. . . Он написал то, что сейчас называется волновым уравнением Клейна–Гордона. . . Кроме того, у него были идеи по поводу пятимерной относительности⁵⁰, мы говорили и об этом тоже. Это было очень интересно. . . Я написал работу совместно с Эренфестом по теме пятимерности¹⁴. . . Я помню, как однажды, когда мы говорили об этом, Клейн рассказал мне о том, как из этого можно получить квантовые соотношения. Дело в том, что из условий периодичности в пятом измерении получались квантовые соотношения. Я был очень взволнован. Я сказал ему: «Скоро мы дадим математическую трактовку всему миру. Мы все будем знать!» Да, это было прекрасным преувеличением. . . Эренфест относился к этому гораздо скептичнее. . . Конечно же, у него не было впечатления, что кто-то может знать все. Я хочу сказать, это было, скорее, присуще молодому поколению³.

Для Уленбека пришло время писать докторскую диссертацию.

Было ясно, что я никогда не напишу диссертацию, оставшись в Лейдене. И тогда он отослал меня в Копенгаген, чтобы там я написал диссертацию. Сэм в то время тоже был там, и в течение двух месяцев мы занимались только тем, что писали. Это было все, что мы делали. Время было очень напряженным. Боже, какой напряженной была эта работа! И в последний день учебного года все было устроено. Эренфест уточнил даты, необходимо было отпечатать работу, затем прочитать поправки, прочитать всю работу — ну что ж, все это позади⁴⁶.

В архивах института Бора отмечается, что Уленбек был в Копенгагене с апреля по июнь 1927 года. Я сейчас остановлюсь на содержании докторской диссертации Джорджа.

«Я был в Геттингене после того, как написал свою докторскую диссертацию [мы все еще в 1927 году]⁷. Именно там Уленбек услышал о первой попытке Паули ввести спин в квантовую механику посредством введения «собственного углового момента [спина] электрона в заданном направлении в качестве новой переменной величины⁵¹».

Это действительно была очень глубокая идея, потому что это был большой шаг вперед от скалярной [однокомпонентной] волновой функции к двухкомпонентной волновой функции. Я помню, что очень тщательно изучал эту работу и что она была написана очень ясным языком. Единственное, что составляло трудность, это все преобразования этих волновых функций — параметры Кейли, насколько я помню, которые, конечно, знал Паули. Мне это казалось совершенным и трудным одновременно. Хотя еще раз повторюсь, что изложено это было предельно ясно, и после прочтения можно было уже использовать это. Многие так и делали. . . Паули сказал мне, что никогда не думал, что эта работа так важна. Но он сказал: «Ja, es war vielwichtiger als ich dachte» [Она оказалась гораздо более значительной, чем я думал.] Он сказал мне об этом⁷.

В Геттингене Уленбек впервые встретил и Роберта Оппенгеймера.

Он совершенно очевидным образом был центром внимания всех молодых студентов. В начале своей профессиональной деятельности Оппенгеймер был, своего рода, оракулом. Он очень много знал. Его было очень трудно понять, но он был очень устремленным, и его всегда окружала группа почитателей. Роберт действительно был одним из лидеров студенческой молодежи. Он защитился, если я не ошибаюсь, шесть месяцев назад под руководством Борна. И вновь Паули был тем, кто немедленно оценил работу Оппенгеймера. Он был единственным, кто понял ее. Я сомневаюсь, что Борн полностью ее понимал, потому что она действительно была трудной⁷.

После Геттингена Уленбек и Оппенгеймер поехали в Лейден.

Примерно с месяц я был в Лейдене вместе с Оппенгеймером. Он в течение некоторого времени был ассистентом Эренфеста. . . Оппенгеймер любил Эренфеста и был очень и очень настойчив. Эренфест совсем не понимал Оппенгеймера, но, по крайней мере, делал попытки понять. Эренфест был очень терпелив. Он не выносил лишь тех, кто был таким умным, что не желал ничего разъяснять другим или даже говорить об этом. Роберт не был таким, хотя он не всегда терпимо относился к людям. Но в то время он был более терпим. Это так. Вот почему вокруг него было так много студентов. Нетерпимый Оппенгеймер — это послевоенный Оппенгеймер. До войны он был совсем другим⁷.

7 июля 1927 года Уленбек защитил докторскую диссертацию по вопросам статистической механики⁵². Через час после его защиты закончилась защита Гаудсмита, который получил свою докторскую степень по теме атомных спектров.

Мы защитились в один день. Так хотел Эренфест. Он сказал, что мы должны защититься в один день, потому что на защите диссертации профессор всегда говорит о своих студентах. Он сказал, что не хочет выступать дважды. Он хотел немного модулировать процесс, чтобы сначала защитился один, а затем второй. Это было не совсем в духе голландских традиций. Им это не нравилось. Хотя Эренфест, естественно, во многих отношениях не походил на голландца. Я помню нашу защиту. Диссертация — это всегда защита какого-то тезиса. . . А в конце всегда необходимо вывести какое-то суждение. Это типичный голландский метод. Потом действительно появляется тема для разговора. Все это продолжается полчаса или сорок минут. . . Потом профессорско-преподавательский состав удаляется на совещание, после чего они возвращаются, а степень дается при выступлении. Мне кажется, Сэм был первым. Нет, я был первым.

А потом Эренфест сказал: «Вы сейчас выходите, выходите, и мы возьмем Сэма». И затем я помню конец защиты, мы вместе с Сэмом сидим перед целым рядом профессоров, а Эренфест выступает с речью о нас обоих³.

В этот день получения степени доктора оба молодых человека уже знали, что поедут на преподавательскую работу в Энн Арбор, штат Мичиган.

Это было уже решено, это было решено еще весной. . . Эренфест позаботился о том, чтобы мы получили это место. И это было великолепно, потому что нам не нужно было преподавать в школе. Мы сразу же получали место, где, по крайней мере, был университет. Я помню, как это произошло. Тогда в Европу приехал Уолтер Колби из Энн Арбора. Он искал человека, который мог бы заменить Оскара Клейна, проработавшего в Энн Арборе, кажется, около двух лет. Там он вывел свое волновое уравнение. Колби пришел к Эренфесту, мы оба там тоже присутствовали. Эренфест произнес страстную речь, смысл которой сводился к тому, что искать одного человека — это плохая идея, поскольку Энн Арбор — это глушь, и там никого нет, и что если Колби возьмет лишь одного, то этому одному будет не с кем даже поговорить. Он настаивал на том, что брать надо двух человек. А еще лучше, сказал он, больше. И он действительно был серьезен. Он мог так серьезно рассуждать о развитии науки. Он произвел громадное впечатление на Колби. Мы шли домой все вместе, и Колби сказал: «Да, он великий человек. Он действительно великий человек». В результате, через две или три недели мы получили приглашение в Мичиган в качестве преподавателей. Мы оба приняли приглашение³.

23 августа 1927 года Джордж женился на Эльзе Опхорст, которая была студенткой на химическом отделении в Лейдене. В 1942 году у них родился сын, Ольке Корнелис («Окки»). Сейчас он стал выдающимся биохимиком, членом Национальной академии наук США.

В конце августа Джордж и Эльза, а также Сэм со своей женой, взойшли на борт *S. S. Baltic*.

Когда они прибыли в Нью-Йорк, в порту их встречал Оппенгеймер с машиной своего отца и шофером в униформе. Он отвез Уленбеков в гостиницу Бревурт на Пятой авеню, потому что ему казалось, что им понравится европейская атмосфера этого отеля. Затем он повез их обедать в Бруклин, чтобы за обедом они могли полюбоваться огнями Манхэттена* на фоне неба, Роберт убедил Уленбеков

*Остров Манхэттен, центральная часть Нью-Йорка. — Прим. перев.

задержать свой отъезд в Энн Арбор, чтобы иметь возможность принять приглашение родителей Оппенгеймера на чай на следующий день. Для Эльзы Уленбек было удивлением видеть светофоры, еще одним удивлением стал для нее дом Оппенгеймеров на Риверсайд Драйв. «Какой большой дом», — думала она, когда они поднимались на лифте. В Голландии тогда не было высоких многоквартирных домов. Поскольку она еще плохо говорила по-английски, то ее впечатления о гостеприимстве Оппенгеймеров были в ту первую встречу — далеко не последнюю — большей частью визуальными. Она запомнила прекрасно обставленную гостиную, полотна Ван Гога и других художников⁵³.

В сентябре 1927 года Уленбек и Гаудсмит прибыли в Энн Арбор, чтобы начать там преподавательскую карьеру.

Последние годы Гаудсмита

Сэм тоже является одним из главных героев этой главы. Он появится в моем рассказе еще и позднее, но в качестве второстепенного героя. Но сейчас, я думаю, будет к месту вкратце рассказать о его последних годах. Я уверен, это было бы приятно Джорджу. До самой смерти Сэма⁵⁴ они с Джорджем оставались близкими друзьями.

В Энн Арборе Сэм подготовил несколько докторов наук. Он опубликовал в те годы две книги: одну⁵⁵ совместно с Робертом Бэчером, студентом, другую⁵⁶ — с Лайнусом Полингом. Во время Второй мировой войны он был командирован в армию для выполнения научно-разведывательной задачи под кличкой Алсос (что по-гречески звучит как «Грувз», имя воинского начальника Лос-Аламоса), чтобы выяснить, насколько далеко продвинулись разработки немцев по созданию атомной бомбы, о чем он написал популярную книгу⁵⁷. В 1948 году он пришел в Брукхейвенскую национальную лабораторию, где и работал до самой отставки в 1970 году. С 1952 по 1960 год он заведовал отделением физики, с 1951 по 1974 год был главным редактором публикаций Американского физического общества. В 1958 году он основал ставшие прославленными *Physical Review Letters*, о которых у него накопилось много интересных историй. Например, случай с полученной рукописью, за которой последовала телеграмма следующего содержания: «Я беспокоюсь относительно уравнения два».

За время работы Сэма в Брукхейвене я много раз приезжал туда в качестве приглашенного профессора летом на период в шесть недель. За время этих визитов я действительно узнал Сэма, некоторые стороны его сложной личности. Он испытывал комплекс

неполноценности, ощущение ненадежности. Я думаю, причиной был тот факт, что он никогда не был силен в теоретической физике. Помните, я говорил, что он был, скорее, «детективом» в физике. Но это нисколько не влияло на мое уважение и дружеские чувства к нему. Но он получил свою долю почестей. Например, в 1965 году я присутствовал на вручении медали им. Макса Планка в Дюссельдорфе, в Немецком физическом обществе.

В 1974 году Сэм был назначен почетным приглашенным профессором в университете Невады в Рено. 4 декабря 1978 года он умер, будучи на территории этого университета. Его пожеланием было, чтобы после его смерти заупокойная служба не проводилась. Это было типично в его стиле, оставаться в тени.

Уленбек и статистическая механика

Почти половина всех публикаций Джорджа, всего около 100, — это публикации по статистической физике, соотношение между миром атома и макроскопическим миром. В 1955 году в своей речи по поводу вступления в почетную и кратковременную должность профессора Лоренца в Лейдене — он был первым, кто занял эту должность, — он поясняет, что привлекло его в этой теме: «Большая часть пробелов в физике — это нерешенные вопросы статистической физики. . . Статистическая физика привлекает меня прежде всего своей связью с той частью математики, с которой редко соприкасаешься при изучении других тем⁵⁸».

Для меня статистическая механика — одна из самых восхитительных областей в физике. Но я не являюсь экспертом в данной области, хотя мы с Джорджем написали совместную работу по этому разделу физики в 1959 году (по квантовой теории третьего вириального коэффициента)⁵⁹. Я очень горжусь этой работой. Вместе со мной в Рокфеллеровском университете работает Э. Г. Д. Коэн, который является знатоком в этой области и моим хорошим другом. Я консультировался с ним по некоторым вопросам, а также пользовался его кратким биографическим эссе «Джордж Уленбек и статистическая механика»⁶⁰. Я благодарен ему за консультации и материалы.

«Еще в самом начале моего увлечения физикой кинетическая теория и статистическая механика вызывали большой интерес», — вспоминал Уленбек³. Его первым вкладом в изучение данных тем была его докторская диссертация⁵². Тогда все способствовало этому: во-первых. Эренфест был признанным знатоком в области ста-

тистической физики, и во-вторых, это был 1927 год, когда квантовая статистика еще только зарождалась, и доказательством этого является одна фраза из его докторской диссертации: «Абсолютно непонятно, какой [квантовой] статистике отдать предпочтение для реального газа⁶¹».

На конференции по случаю 100-летия со дня рождения Эйнштейна (1979 год, Принстон) Джордж вспоминал о самом интересном вопросе, поднимаемом в его диссертации:

В начале 1927 года я начал изучать работу Эйнштейна, в которой он заявляет о том, что в идеальном газе, — таком как гелий, — вследствие статистики Бозе должно происходить явление конденсации⁶³. Это казалось парадоксальным, и к собственному изумлению я пришел к выводу, что Эйнштейн ошибался! Я считал ошибкой замену функции распределения по дискретным энергетическим уровням частицы интегралом; это нельзя было делать вблизи точки конденсации. Точная формула не давала какой-либо сингулярности, так что, например, уравнение состояния было вполне гладким. Я был, конечно же, взволнован, особенно из-за того, что Эренфест был убежден в моей правоте, когда выслушал мои доводы. Я знаю, что он читал лекции по этому вопросу в нескольких местах и что он написал письмо Эйнштейну [содержащее такую фразу]: «Когда короли строят, у чистильщиков есть работа».

Теперь, оглядываясь назад, я думаю, что, хотя я и был прав в техническом отношении, Эйнштейн как-то интуитивно понял, что такой фазовый переход, как бозе-конденсация, может происходить лишь для больших систем и является своего рода предельным свойством. Это должно оправдывать замену сумм интегралами. Конечно, Эйнштейн этого не доказал! Фактически, из разговоров с ним в 30-е годы я знаю, что он был согласен с моей критикой.

Суть в том, что резкий фазовый переход может происходить лишь в так называемом термодинамическом пределе, в котором число частиц N , а также объем V стремятся к бесконечности, но так, что N/V остается постоянным. Эта точка зрения возникла в долгом (продолжавшемся все утро) споре на конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ван дер Ваальса, в Амстердаме, в ноябре 1937 года. Вопрос стоял так: содержит ли функция распределения данные, необходимые для описания резкого фазового перехода? Переход предполагает существование аналитически различимых частей изотерм. Крамерс был председателем, и он поставил вопрос на голосование. Уленбек вспоминает, что голоса разделились поровну. Но предложение Крамерса двигаться к термодинамическому пределу было, в конце концов, признано правильным ответом. Вскоре после этого Уленбек снял свои возражения по поводу результата Эйнштейна в работе, написанной совместно с его одаренным учеником Борисом Каном⁶⁴.

Задача конденсации Бозе–Эйнштейна (БЭ-конденсации) оставалась с Уленбеком на протяжении всей его жизни. В 1970 году она вылилась в его работы по сверхтекучему гелию⁶⁵. Он не дожидаясь экспериментального подтверждения БЭ-конденсации в 1995 году.

Полный перечень дальнейших трудов Джорджа по статистической физике составил бы целую книгу, возможно, скромную по объему, но богатую по содержанию. Я ограничусь здесь лишь кратким обзором.

Броуновское движение. Эта тема включает одну из двух работ, которые Уленбек и Гаудсмит написали в соавторстве в первые годы после Лейдена⁶⁷, а также классическую работу с Орнштейном, еще одним голландцем⁶⁸. См. работу⁶⁹, где дается обзор его работ 1945 года. Через 25 лет он вернулся к этой теме⁷⁰.

Работа по классической теории конденсации, которая началась с его совместной с Каном работы, продолжалась на протяжении последующих 20 лет⁷² и привела его к подробному изучению математики *линейных графов*⁷³. Это направление его исследования завершилось прекрасными работами по уравнению состояния Ван дер Ваальса⁷⁴. Этой же теме была посвящена его речь при вступлении в должность в качестве приглашенного профессора кафедры, ранее возглавлявшейся Ван-дер-Ваальсом, в 1964 году в Амстердаме⁷⁵. И вновь он был первым в этой почетной должности. Другим примером его работы в классической физике является его работа по удельной теплопроводности⁷⁶.

Что касается его более поздней работы в квантовой статистике, я должен сказать о его работе по второму⁷⁷ и третьему⁵⁹ виральным коэффициентам; по квантовой теории явления переноса⁷⁸ и квантованным вихрям в гелии II⁷⁹. Джордж, кроме того, был мастером в применении статистических методов к тем вопросам, которые не входят в обычную статистическую механику: к вычислению плотности энергетических уровней ядра⁸⁰, к флуктуациям космических ливней⁸¹, к дисперсии звука в гелии⁸², к ударным волнам⁸³. Он также был соавтором книги по пороговым сигналам⁸⁴.

Этот неполный перечень иллюстрирует разносторонность Уленбека в рассмотрении вопросов статистической физики, но он не демонстрирует его глубокой интерес к фундаментальным вопросам статистической механики. Это, в основном, математические и логические задачи, возникающие при изучении связи между обратимыми (во времени) атомными явлениями и необратимыми макроскопическими явлениями. Он изобрел термин «Нулевой закон термодинамики» для обозначения того факта, что замкнутая макроскопическая система всегда будет стремиться к равновесию и оставаться в равновесии. Для него центральной задачей стати-

стической механики был *подход* к равновесию, а не само равновесие. Его точка зрения по этому вопросу отражена в нескольких работах и записях лекций⁸⁵.

Когда позднее были разработаны новые важные концепции, имеющие отношение к статистической физике, такие как методы ренормализационной группы, законы подобия, классы универсальности, Уленбек не принимал в этом участия. Фактически, он даже отвергал их. Коэн написал по этому поводу:

Он был одним из величайших примеров человека, застигнутого на рубеже веков. . . Он чувствовал себя не только наследником, но и защитником традиции. И он ревностно охранял ее, устанавливая, таким образом, неповторимый стандарт честности в статистической механике. . . Нескольким поколениям физиков он преподавал статистическую механику в редком для этого века стиле. . . [Его работы] были примером классического благородства⁶⁰.

За исключением диссертации Уленбека, все его работы по статистике и механике были написаны после того, как он уехал из Лейдена. Давайте проследим за его путешествиями.

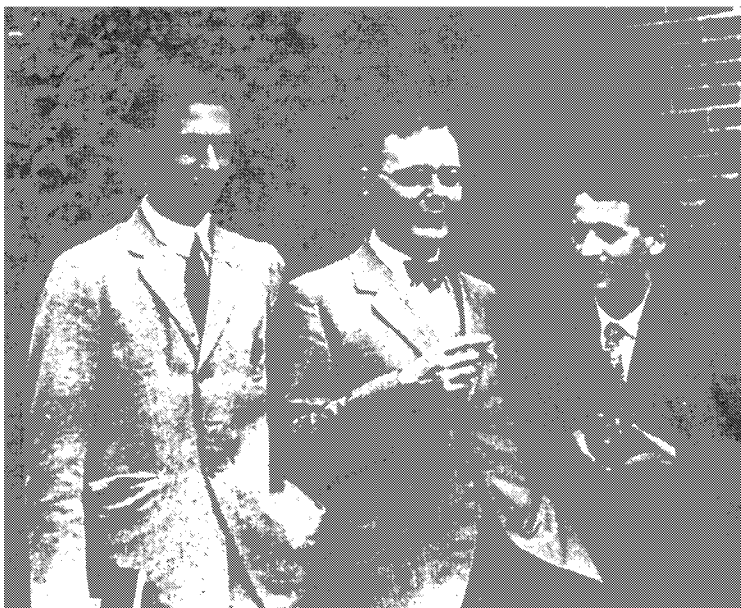
Энн Арбор — Утрехт — Энн Арбор. Мои первые встречи

Эренфест сделал возможной поездку в Энн Арбор как для Джорджа, так и для Сэма.

Он сказал: «Конечно, вам следует туда поехать. Все те, кто действительно подает надежды, должны уезжать, а затем вам следует вернуться, если вам предложат где-нибудь должность профессора». Это было, так сказать, еще одной идеей Эренфеста; он считал, что необходимо всех отправить, а затем можно будет позвать обратно, вот только последнее, конечно же, не происходило².

Ранние впечатления Джорджа об Энн Арборе:

«Было ясно, что мы в окрестностях, в провинции. С одной стороны, это было хорошо — быть *не* в центре, вы оказывались не просто в Энн Арборе, вы были «нигде» в Америке. Мы чувствовали себя в центре только летом, потому что в летние школы приезжало много физиков²». Давайте вспомним, что в Энн Арборе были организованы первые летние школы по физике в Америке, и не только в Америке. Рандалл [Харрисон Рандалл, который одно время возглавлял отделение физики] организовал летнюю школу еще до нашего приезда, но когда мы приехали, летние школы действительно стали основной деятельностью этого отделения. Конечно же, приезжал Эренфест, приезжали Крамерс, Ферми, Паули, Зоммерфельд, Дирак и многие другие. Летом, естественно, было не до отдыха. Рабочий график был очень напряженным, потому что необходимо было не только посещать лекции, но и самому их читать. Именно



Уленбек с Хендриком Крамерсом и Гаудсмитом в Энн Арборе, штат Мичиган, примерно 1928 год. (С любезного разрешения Американского института физики, коллекция Гаудсмита).

таким образом была организована работа этих школ. А потом, когда наступала осень, необходимо было переварить все, что произошло за лето².

Традиция летних школ продолжилась. Я читал там лекции [по квантовой теории поля] в 1950 году. Тогда я познакомился с Марком Кацем, выдающимся математиком, другом и сотрудником Уленбека. Джордж рассказал мне историю, произошедшую в летней школе в 1931 году, когда Паули был на лекции Оппенгеймера по все еще противоречивому уравнению Дирака. В середине лекции Паули встал, промаршировал к доске и схватил кусок мела. Он стоял, повернувшись к доске и помахивая кусочком мела, затем сказал: «Ach nein, das ist ja alles falsch». . . все равно все это неверно. Крамерс командовал своему другу Паули выслушать лектора до конца. Паули вернулся на свое место.

В первые годы пребывания Уленбека в Мичигане «центром все еще оставалась Европа. Поэтому Рэндалл сказал, что мы должны

ездить в Европу каждые два года. Он убеждал в этом руководство: я тоже это делал. Затем произошла перемена, я уже уехал обратно в Европу, перемена произошла, потому что такие ученые, как Бете, переехали постепенно в Америку, и было положено начало ядерной физике²».

За последующие 20 лет Джордж сам написал около десяти статей по этой молодой тогда отрасли физики, начиная с двух работ, написанных в 1934 году. Темой одной работы была бомбардировка лития протонами и дейтронами⁸⁶, темой второй⁸⁷ — «Спонтанный распад протона или нейтрона согласно теории Ферми», озадачивающее название, из которого мы можем заключить, что: во-первых, еще велись споры о том, что тяжелее: протон или нейтрон; во-вторых, Уленбек одним из первых, возможно, самый первый, применил теорию Ферми о β -радиоактивности, опубликованную всего лишь на несколько месяцев раньше⁸⁸. В другой работе он рассматривает роль γ -лучей в ядерной физике⁸⁹, затем идет работа по закону Саргента⁹⁰, который связывает скорость распада β -радиоактивности с ядерным зарядом и максимальной энергией, высвобождаемой в этом процессе, и, наконец, работа по устойчивости ядерных изомеров⁹¹. В 1950 году он первым опубликовал работу по направленным корреляциям каскадных ядерных излучений⁹² и по бета-гамма корреляциям⁹³. Я помню, как Уленбек рассказал мне, что после публикации этих его работ экспериментаторы сказали ему, что таких корреляций не существует, но что под воздействием его работы они вскоре обнаружили их везде. Я могу отметить также, что в 1952 году Джордж написал свою единственную работу по физике частиц, по μ -мезонам⁹⁴.

Из всех трудов Уленбека по ядерной физике наибольший переполох вызвала в 1935 году его совместная работа с Эмилем Конопинским, получившая название КУ-теория. Это модификация теории Ферми β -радиоактивности⁸⁸.

Эта теория содержит предсказание для относительного числа испускаемых электронов, как функции их энергии. Ферми уже отмечал, что его предположение давало слишком мало медленных электронов. КУ-модификация, напротив, очень хорошо подходила к данным потока и была широко принята в течение последующих пяти лет. Уленбек рассказал мне, что произошло дальше. К нему приехал молодой экспериментатор Джим Лоусон и сказал, что все прежние измерения β -спектров были неверными из-за искажения вторичными эффектами, в частности, поглощением и рассеянием внутри самого источника и внутри материала держателя. Лоусон показал⁹⁶, что утончение источника приводит к более точному соответствию с теорией Ферми. В результате этого КУ-теория была забыта.

Такое случалось и раньше, теоретическая идея разрабатывается безупречным образом, но оказывается, тем не менее, неправильной, потому что Природа этого не любит. Джордж воспринимал действительность без сожалений. Это было его характерной чертой. Уже через два года они с Конопинским написали революционную работу по β -теории, рассматривающую классификацию разрешенных и запрещенных переходов⁹⁷.

Но когда я познакомился с профессором Уленбеком в 1938 году, КУ-теория все еще была в силе.

В 1933 году, когда произошло самоубийство Эренфеста, Хендрик Крамерс был профессором теоретической физики в Утрехте. На него естественным образом пал выбор при назначении на освободившуюся должность, в которую он вступил в 1934 году. В Утрехте появилась вакансия. Уленбек вспоминал, что произошло дальше: «После продолжавшегося почти год междуцарствия [в Утрехте] я, наконец, получил предложение. . . после длительной беседы с Крамерсом. . . , который, так сказать, нажал на мое чувство долга. Он сказал, что это мой долг — вернуться в 1935 году в свое отечество, что я и сделал, хотя никакого желания к этому не испытывал²». 23 марта 1935 года он произносил свою речь при вступлении в новую должность⁹⁸.

В течение первых университетских лет, которые проходили в родном Амстердаме, я начал изучать курсы по физике, химии и математике, но сосредоточенности в моих занятиях не было. Зимой 1938 года приехал Уленбек и прочитал две лекции по бета-распаду. Я мало что понял; о нейтринно я вообще тогда еще не слышал. Но слушая эти лекции, которые читались в таком спокойном и неотразимом стиле, я точно знал, что хочу писать свою выпускную работу под руководством Уленбека.

В феврале 1938 года я получил степень бакалавра, после чего написал Уленбеку письмо с просьбой о встрече. Я получил ответ с приглашением приехать в назначенный день. В назначенный день я сел в поезд и направился в Утрехт. Я пришел в лабораторию по физике, которая тогда располагалась на Бюлхоуверстрат. Там находился кабинет Уленбека, который он делил со своим ассистентом. Я постучал в кабинет номер 220 и получил приглашение войти и сесть. Я рассказал Уленбеку о своих надеждах

стать студентом выпускного курса по теоретической физике под его руководством.

Ответ Уленбека был неожиданным. «Если Вы любите физику, — сказал он, — то почему бы Вам не подумать над тем, чтобы заняться экспериментальной физикой? А если Вам нравятся математические аспекты теоретической физики, то почему бы не стать математиком?» Затем он пояснил, что практические возможности для физика-теоретика в Нидерландах очень ограничены, и в будущем в том числе. А что касается экспериментальной физики и математики, то в данных областях возможностей найти работу гораздо больше, например, в промышленности. И более того, добавил он, теоретическая физика очень трудна, это тяжелый труд, это жизнь, наполненная крушениями надежд и разочарованиями.

Меня поразило все то, что он сказал, и я промямлил, что очень люблю теоретическую физику. И вновь ответ Уленбека был неожиданным. Он сказал: «Если это действительно так, тогда не раздумывайте и становитесь физиком-теоретиком, потому что это самый замечательный предмет, какой можно себе представить». Позднее он рассказал мне, что он сам прошел через то же самое. Его тоже сначала отговаривали, когда он заявил о своем желании стать теоретиком. И сам он всегда делает это по отношению к своим студентам.

После этого предварительного этапа Уленбек сказал мне, что он хотел бы рассказать мне, над чем он сейчас работает. Его исследовательской темой были космические лучи, излучения фотонов и разных других видов частиц, которые приходят из внешнего пространства и которые можно обнаружить на земле. Он в общих чертах расписал мне теорию на доске. Я сидел и слушал, время от времени переспрашивая то, что было мне непонятным. Он терпеливо пояснял. Некоторые математические приемы были для меня новыми, так что мне пришлось напрячь мозги, пытаясь следовать не только физическому рассуждению, но и математическому анализу. У меня неплохо получалось, но после часа объяснений я почувствовал крайнюю усталость от такого интенсивного обсуждения. Но Уленбек невозмутимо продолжал говорить. Еще через час я был уже в полубессознательном состоянии, но сказал себе держаться, поскольку это испытание огнем. Это продолжалось еще какое-то время, затем профессор остановился, назвал мне работу, которую мы обсуждали, сказал изучить ее и прийти к нему снова через две недели. Я, спотыкаясь, вышел из кабинета, будучи неспособным сосредоточиться ни на чем, кроме возвращения домой.

Через много лет я рассказал Уленбеку о том, как тяжело дался мне этот первый день, проведенный в беседе с ним. Он с улыбкой

ответил, что и сам прошел через это, когда впервые встретился с Эренфестом. А Эренфест, в свою очередь, получил тот же урок от великого Людвигу Больцмана в Вене. Эта традиция является частью обучения в великом старом стиле, который направлен на обучение лишь нескольких студентов. Я, в свое время, был единственным, кого взял в свои ученики Уленбек. Ввиду такой явной привилегии, я могу считать себя праправнуком Больцмана. Между тем, я думаю, старая школа преподавания ушла в небытие, поскольку теперь гораздо большее число студентов получает высшее образование.

На протяжении всего весеннего семестра 1938 года я регулярно приезжал к Уленбеку. А затем наступил момент, когда он сказал мне о своем предстоящем отъезде в Колумбийский университет в Нью-Йорк в качестве приглашенного профессора. Для меня это было большим огорчением.

Когда Уленбек вернулся из Америки, он привез новость об открытии деления ядра. Мы много говорили об этой новой отрасли ядерной физики. Он рассказал о совещании в Вашингтоне, на котором Бор и Ферми впервые объявили об этом открытии, и как американские газеты немедленно опубликовали эту новость, назвав ее сенсационной⁹⁹. Еще он рассказал о том, что в Пупинской* лаборатории Колумбийского университета он работал в одном кабинете с Ферми, который только недавно бежал с семьей из Италии. (Причиной побега были принятые правительством Муссолини антисемитские законы, а жена Ферми была еврейского происхождения.) Однажды они с Ферми говорили о делении ядра. Ферми встал, подошел к окну и сказал что-то вроде: «Ты понимаешь, Джордж, это может сделать возможным создание таких мощных бомб, что на разрушение вот этого большого города их понадобится лишь несколько штук». Это говорит о том, что атомное оружие не было секретом, этот вопрос был вполне ясен для физиков, и даже я, только начиная заниматься физикой, уже понимал значение этого открытия.

Для получения степени Master (соответствующей степени магистра) необходимо было дать несколько теоретических семинаров. Темой моего первого семинара было деление ядра. Я хорошо подготовился, как я считал. Я начал говорить и писать на доске формулы. Уленбек прервал меня почти сразу: «Сначала назовите нам задачу, которую Вы ставите, а затем сразу излагайте свои выводы.

* М. Пупин (США). — *Прим. ред.*

И лишь потом можете углубляться в детали и подробный вывод формул». Я последовал его указаниям, но все же он прерывал меня еще несколько раз. Например: «Вы должны объяснить это простым языком, а не демонстрировать, как Вы умны». Это был действительно очень полезный и поучительный опыт. С тех пор я постоянно пользуюсь советами профессора. Кроме всего прочего, Уленбек научил меня технике использования доски, которую он, в свою очередь, перенял у Эренфеста, одного из самых замечательных преподавателей начала XX века: «Начните сверху, слева. Ваши письменные комментарии должны быть подготовлены таким образом, чтобы к концу своего выступления Вы писали в нижнем правом углу доски. Никогда, никогда во время представления темы ничего не стирайте». Этот совет может показаться простым и чуть ли не тривиальным, но он имеет решающее значение для того, чтобы внимание аудитории не рассеивалось и не отвлекалось по мере того, как физик читает лекцию с куском мела в одной руке и тряпкой в другой. Помимо всего прочего, я благодарен своему великому учителю за то, что он научил меня данному методу представления материала.

Уленбеку вскоре пришло время уезжать. Я ясно помню нашу последнюю на голландской земле встречу. Я поблагодарил его за все, чему он меня научил. Его последними словами были: «Мы еще встретимся». Эта фраза придавала мне сил во время последующих печальных военных лет. Его пароход ушел в августе 1939 года, всего за несколько недель до начала Второй мировой войны. Наша следующая встреча состоялась в сентябре 1946 года в Нью-Йорке.

Последние годы

Я уже рассказал почти обо всех работах Уленбека по статистической механике и ядерной физике, и это, практически, все, что следует сказать о его послевоенных открытиях. Поэтому последняя часть этого эссе посвящена, в основном, личным аспектам его последних лет жизни.

Сначала о его военной работе. С 1943 по 1945 годы он работал в радиационной лаборатории Массачусетского технологического института — мозгом центре американских разработок по радару. Он был руководителем группы, которая занималась разработкой теории волновода. У меня нет информации о его научной деятельности там, но я понимаю, что «радар выиграл войну¹⁰⁰». Я знаю одну интересную историю, связанную с этим периодом, о влиянии Уленбека на Юлиана Швингера, одного из величайших теоретиков моего поколения. Этот эпизод его жизни начался, когда Уленбек вехал из Утрехта, осенью 1938 года.

В 1938 году я был в Колумбийском университете, а Швингера постигла неудача, поскольку он не мог защититься на степень доктора из-за того, что не посещал лекции по математике и имел недостаточно высокие оценки. По этой причине Раби сказал Швингеру, что он должен посетить мои лекции в Колумбийском университете, что он, конечно же, не делал, поскольку лекции проходили рано утром. Я спросил Раби, что я должен сделать в таком случае, потому что я, естественно, был за то, чтобы поставить ему «отлично», поскольку ему нужна была высокая отметка. . . Что касается знаний, то он знал ровно столько же, сколько и я. . . Но Раби сказал, что я не должен так просто ставить ему высокую оценку. Вместо этого мне следует устроить ему экзамен, причем сделать его трудным. Я так и сделал, и, естественно, он все знал, он каким-то образом достал записи моих лекций! Кроме того, я подчистил вывод формулы в парочке случаев, сделав его небрежным. Он сделал это гораздо лучше, так что я еще раз убедился, что он знает все, поэтому я сказал: «Хорошо, я расскажу об этом мистеру Раби». Теперь с чистой совестью я мог поставить ему высший балл, и это помогло ему получить степень.

Так получалось, что я всегда спасал Швингера, даже во время войны я сделал это, потому что он в это время приехал в радиационную лабораторию. Он был в Чикаго, ему было поручено сделать что-то, связанное с атомной энергией. Швингеру это не нравилось, поэтому он просто остановил попутную машину и приехал в Бостон. Это было вполне в духе Швингера. Он никому не сказал, что отправляется в Бостон, он просто взял и уехал. Он подошел к Раби, который тогда был в лаборатории, и Раби сказал ему: «Конечно, можешь работать здесь». Эта работа была ему по душе, он работал в моей группе и решал все математические задачи по волновым, что, конечно же, было хорошо. . . Он действительно замечательно делал вычисления, он был выдающимся вычислителем. И в математическом, и в техническом отношении он был выдающимся ученым².

Большую часть работы Швингер выполнял ночью, поэтому

Экспериментаторы, в конце концов, приходили к нему только около 4 часов вечера. Он наконец-то приходил в 4.30, чтобы провести семинар. Юлиан всегда прибегал, запыхавшись, но после моего с ним разговора он добросовестно относился к этому. Но потом возникла эта проблема. Люди в Чикаго были разгневаны по причине его самовольного отъезда и по каналам нам передали, что его нужно отправить обратно в Чикаго, что он там нужен и что мне поручено его туда сопроводить. Меня вызвали к директору лаборатории Ли Ду Бриджу, который сказал: «Мне сообщили, что Вы соблазнили Швингера работать в лаборатории». На что я ответил: «Ничего подобного. Он просто пришел. Он хочет тут работать, и я не имею с этим ничего общего». «Что ж, — сказал директор, — в Чикаго на него очень сердиты. Вам придется поехать туда и уладить дело».

Мне пришлось туда поехать и провести там день или два в разговорах с Юджином Вигнером и другими людьми, связанными с той работой. Я просто рассказал, как все произошло, и, слава Богу, они вошли в положение и оставили все, как есть. Ли Бридж сказал мне комплимент по поводу моих больших дипломатических усилий в отношении Швингера, который вообще не знал, что творится, он просто сидел в лаборатории! Так что мне довелось спасти его от работы, связанной с атомной энергией, которая ему по какой-то причине не нравилась².

Осенью 1945 года Уленбек вернулся в Энн Арбор. В 1954 году он получил звание профессора физики Генри Кахарта.

Первое, что я сделал, приехав в Америку в сентябре 1946 года, это посетил заседание Американского физического общества в Нью-Йорке. Там я снова встретился с профессором Уленбеком, в первый раз после лета 1939 года. Я был тронут теплотой нашей встречи. Во время перерыва он пригласил меня пообедать вместе с ним и его другом Гаудсмитом. Я видел Гаудсмита впервые, но он знал меня. Как хорошо воспитанный голландец я отвечал на вопросы Уленбека «Да, профессор» или «Нет, профессор». Через некоторое время он пристально посмотрел на меня и сказал: «Почему бы тебе не называть меня просто Джордж». Я, наверное, покраснел. В любом случае, для меня это было обрядом посвящения.

Наша следующая встреча произошла на конференции Шелтер Айленда в июне 1947 года. Именно на этой конференции были заложены основы того, что потом получило название ренормализационной программы в квантовой теории поля.

Еще более важным для меня было присутствие Джорджа в Институте перспективных исследований в Принстоне в течение 1948–1949 учебного года. Я тогда был штатным сотрудником этого института. В это время мы впервые сотрудничали, в результате чего в ренормализационной теории появились новые результаты¹⁰¹. Затем мы обратились к исследованию по другой теме, оно заняло у нас год. Это было критическое рассмотрение нескольких недавних попыток избавиться от расходимостей в квантовой электродинамике не путем введения дополнительного поля (что пытался сделать я), а с помощью модификации уравнений самого электромагнитного поля, превращая действие в нелокальное — т.е. изменяя различными способами максвелловские уравнения, вводя в них производные высших порядков. Наша работа привела нас к введению некото-

рых новых математических методов и к открытию того факта, что эти попытки ведут к другим неожиданным видам недопустимых результатов. Вся эта работа до сих пор используется и цитируется¹⁰².

В этом году я получил еще один великолепный подарок от Уленбека. Он научил меня игре в сквош. Дважды в неделю мы приходили в университетский спортивный зал, в котором размещались 15 кортов. Несмотря на то, что он был на 20 лет старше меня, победа в том году непременно доставалась ему. Он занимал свою излюбленную центральную позицию и посылал мяч то в один угол площадки, то в другой, так что мне приходилось кидаться из стороны в сторону, и я здорово выматывался. Через какое-то время я наконец понял, что игрок должен быть не просто хорошо подготовлен физически, ему нужно еще уметь быстро соображать.

Рождественские каникулы в 1949 году я провел в Энн Арборе в качестве гостя Уленбека. Мы добавляли последние штрихи к нашей работе¹⁰². Я познакомился с женой Джорджа Эльзой и его сыном Ольке, которые мне очень понравились. В те годы зародилась наша глубокая дружба с Джорджем. Она продолжалась до самой его смерти. Я гораздо лучше понял его, особенно ту примечательную черту его личности, которую я называю чистотой. Как сказал об этом однажды Крамерс, Джордж был «единожды рожденным» (характеристика, изобретенная Уильямом Джеймсом). В своих архивах я нашел письмо, которое я подписал в числе других¹⁰³. В письме мы предлагали своим коллегам присоединиться к нам в движении Джорджа на пост президента Американского физического общества. Джордж действительно был выбран президентом на 1959 год. (Я уже говорил о других оказанных ему почестях: профессорство Лоренца в 1955 году, медаль им. Эрстеда в 1956.)

Уленбек провел в Принстоне еще один академический год, 1958–1959. За это время мы написали еще одну совместную работу, о которой говорилось ранее⁵⁹. Окончательный этап нашего сотрудничества привел нас обоих в Брукхейвенскую национальную лабораторию летом 1959 года, где у меня был необычный опыт. Однажды утром, когда мы должны были встретиться в моем кабинете, поблизости пронесся ураган, который пощадил лабораторию, но оросил ее проливным дождем. Мы оба так промокли, что когда мы встретились, то нам пришлось снять с себя большую часть одежды. В анналы науки добавилась уникальная сцена: два физика в нижнем белье спорят, стоя у доски.

В 1960 году Уленбек уехал из Энн Арбора в Рокфеллеровский институт медицинских исследований в Нью-Йорке (сейчас Рокфеллеровский университет) на должность профессора. Я часто приезжал к нему из близлежащего Принстона, где уже давно был профессором Института. Мне очень нравилась спокойная и уютная атмосфера Рокфеллеровского института, к тому же мне уже надоел Принстон, поэтому однажды я спросил Джорджа, как он смотрит на то, что я присоединюсь к нему в Нью-Йорке. Он с радостью воспринял мое предложение. Так и получилось, что в 1963 году я тоже стал профессором Рокфеллеровского института. У меня появилась возможность в течение многих лет наслаждаться ежедневным общением с Джорджем.

В 1971 году Джордж получил почетное звание, но продолжал активно работать, регулярно приходя в свой кабинет. В последние годы жизни ему оказывалось много почестей: медаль им. Планка (1965 год), медаль им. Лоренца Королевской Голландской академии наук (1970), Национальная медаль науки, высшая научная награда Соединенных Штатов Америки (1977), Премия Вульфа (1979 год) за почетные докторские должности. В 1977 году Уленбек и Сэм праздновали свой золотой докторский юбилей, и королева Нидерландов возвела обоих ученых в высший ранг кавалеров ордена Оранж-Нассау.

Так спокойно текла жизнь Джорджа, он продолжал размышлять об основах статистической механики, пока однажды в 1984 году с ним не случился удар. Его привезли в Нью-Йоркскую больницу. Мне сообщили об этом по телефону, но навестить его разрешили лишь спустя некоторое время. Меня поразило его измученный вид. Я не был специалистом, но у меня возникло впечатление, что его дни сочтены. Но он поправился и через несколько недель вернулся в Нью-Йоркскую квартиру.

Эльза и Окки, его любимый сын, который немедленно приехал, решили, что Нью-Йорк — это теперь не лучшее место для него. Джордж с ними согласился. В начале 1985 года вся семья переехала в Урбана-Шампейн (Urbana-Champaign), где Окки был профессором микробиологии. Джордж написал нам, своим коллегам по институту, письмо¹⁰⁴. Письмо было написано присутщим ему каллиграфическим почерком. Я процитирую часть этого письма:

Прежде всего, позвольте мне сообщить вам о состоянии моего здоровья. Мне гораздо лучше! Я гуляю по окрестностям, как обыч-

но, и уже набрал вес (20 фунтов)! Правда... ухудшились зрение и слух... Я не могу читать газеты и *Physical Review Letters*... Память в ужасном состоянии, поэтому я не в состоянии писать что-либо разумное по физике, что было бы удовлетворением для меня и, возможно, полезным пособием для молодого поколения. Поэтому, я думаю, пора уходить... Ну что ж, друзья, на сегодня все!... Ваш старый друг Джордж У.

Когда в 1986 году Окки получил назначение на профессорскую должность университета Колорадо в Боулдере, семья переехала туда. Здоровье Джорджа медленно ухудшалось. Там он и умер 31 октября 1988 года, от удара, в возрасте 87 лет. В моем кабинете есть память о нем — его любимый стул.

Когда Джордж начал 1 апреля 1955 года свою почетную профессорскую деятельность в Лейдене в качестве профессора Лоренца, он произнес речь, в которой сказал:

Одно из главных качеств, которым должен обладать исследователь — это смелость. И я знаю единственный способ привить это качество молодому поколению — это способ Эренфеста... Он требует идеального соотношения профессоров и студентов — один к одному, оно все больше и больше уходит в прошлое.

Я всегда буду помнить своего учителя, с которым я был один на один и который дал большую часть мужества, которое я смог собрать.

Библиография и примечания

1. A. Gerlach, *Fastes militaires des Indes-Orientales Néerlandaises*, p. 571, Joh. Noman et Fils, Zalt-Bommel, 1859.
2. G. E. Uhlenbeck, интервью с T. S. Kuhn, December 9, 1963, копия в архиве Нильса Бора (NBA), Copenhagen.
3. Ref. 2, интервью April 5, 1962.
4. E. M. Uhlenbeck, письмо к A. Pais, November 20, 1990.
5. P. Ehrenfest, T. Ehrenfest, in *Enzyklopadie der Mathematischen Wissenschaften* Vol. 4, part 2, Teubner, Leipzig, 1911. Английский перевод by M. J. Moravcsik, in *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics*, Cornell University Press, Ithaca, NY, 1959.
6. G. E. Uhlenbeck, *Am. J. Phys.* **24**, 431, 1956.
7. Ref. 2. interview on March 30. 1962.

8. P. Ehrenfest, письмо к N. Bohr, A. Einstein, J. Franck, G. Herglotz, A. Joffe, Ph. Kohnstamm, and R. Tolman, August 14, 1932, copy in NBA.
9. О реакции некоторых коллег см. A. Pais, *Niels Bohr's Times*, pp. 408-10, Oxford University Press, 1991.
10. E. Fermi, *Rev. Mod. Phys.* **4**, 87, 1932.
11. E. Fermi and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **44**, 510, 1933.
12. G. E. Uhlenbeck, *Commun. Dutch Hist. Inst. Rome*, **4**, 217, 1924.
13. G. E. Uhlenbeck, *Physica* **5**, 423, 1925.
14. P. Ehrenfest and G. E. Uhlenbeck, Proc. Kon. Akad. Wetensch. **29**, 1280, 1926.
15. D. Lang, *The New Yorker*, November 7, 1953, p. 47; November 14, 1953, p. 45.
16. S. Goudsmit, *Naturwissenschaften* **9**, 995, 1921.
17. Ref. 2, interview on March 31, 1962.
18. S. Goudsmit, *Ned. Tydschr. Natuurk* **37**, 386, 1971. Английский перевод в *Delta*, Summer 1972, p. 77.
19. S. Goudsmit, *Physica B1*, **21**, 445, 1946.
20. G. E. Uhlenbeck, *Physics Today*, June 1976, p. 43.
21. S. Goudsmit, *Physics Today*, June 1976, p. 40.
22. S. Goudsmit, *Physica* **5**, 281, 1925.
23. S. Goudsmit and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **5**, 266, 1925.
24. M. Abraham, *Ann. der Phys.* **10**, 105, 1903, section 11.
25. G. E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, *Naturwissenschaften* **13**, 953, 1925.
26. P. Ehrenfest, письмо к H. A. Lorentz, October 16, 1925, Lorentz Archives, University of Leiden.
27. *H. A. Lorentz, Collected Works*, Vol. 7, p. 179, Nijhoff, The Hague, 1936.
28. W. Heisenberg, письмо к S. Goudsmit, November 21, 1925; reproduced in ref. 18.
29. S. Goudsmit and G. E. Uhlenbeck, *Nature* **117**, 264, 1926.
30. N. Bohr, письмо к P. Ehrenfest, December 22, 1925, copy in NBA.
31. S. Goudsmit and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **6**, 273, 1926.
32. L. H. Thomas, *Nature* **117**, 514, 1926; *Phil. Mag.* **3**, 1, 1927.
33. N. Bohr, letters to W. Heisenberg and to W. Pauli, February 20, 1926, copies in NBA.
34. G. F. FitzGerald, *Nature* **62**, 564, 1900.
35. A. H. Compton, *J. Franklin Inst.* **192**, 145, 1921.
36. E. H. Kennard, *Phys. Rev.* **19**, 420, 1922.
37. W. Pauli. *Naturw.* **12**. 741. 1924.

38. W. Pauli, Nobel lecture 1946; reprinted in his *Collected Scientific Papers by Wolfgang Pauli* (R. Kronig and V. Weisskopf, Eds), Vol. 2, p. 1080, Wiley, New York, 1964.
39. S. Goudsmit, *Physics Today* **18**, June 1961, p. 21.
40. L. Belloni, *Am. J. Phys.* **50**, 461, 1982.
41. R. Kronig, письмо к Н. А. Kramers, March 6, 1926, copy in NBA.
42. N. Bohr, письмо к R. Kronig, March 26, 1926, copy in NBA.
43. R. Kronig, письмо к N. Bohr, April 8, 1926, copy in NBA.
44. См. мое эссе о Оскаре Клейне в этой книге.
45. F. R. Bichowski and H. Urey, *Proc. Nat. Ac. Sci.* **12**, 801, 1926.
46. Ref. 2, interview on May 10, 1962.
47. W. Pauli, письмо к G. E. Uhlenbeck, June 9, 1926; reprinted in *Wolfgang Pauli, Scientific Correspondence* (A. Hermann et al, Eds), Vol. 1, p. 329, Springer, New York, 1979.
48. См. мое эссе о Паули в этой книге по поводу других отзывов Уленбека о Паули.
49. W. Pauli, письмо к G. Uhlenbeck, June 4, 1937; reprinted in ref. 47, Vol. 2, p. 521; Pauli to Uhlenbeck, July 9, 1938, *ibid.*, p. 583; Uhlenbeck to Pauli, July 1938, *ibid.*, p. 590; Pauli to Uhlenbeck, July 27, 1938, *ibid.*, p. 591.
50. Эти идеи о пятимерной теории относительности обсуждались в моем эссе о Клейне в этой книге.
51. W. Pauli, *Zeitschr. f. Physik* **43**, 601, 1927.
52. G. E. Uhlenbeck, *Over statistische methoden in de theorie der quanta*, Nyhoff, The Hague, 1927.
53. A. K. Smith and C. Weiner, *Robert Oppenheimer*, p. 107, Harvard University Press, 1980.
54. Комментарии о Гаудсмите можно найти в его некрологе, M. Goldhaber, *Physics Today*, April 1979, p. 71.
55. R. Bacher and S. Goudsmit, *Atomic Energy States*, McGraw-Hill, New York, 1932.
56. S. Goudsmit and L. Pauling, *The Structure of Line Spectra*, McGraw-Hill, New York, 1930.
57. S. Goudsmit, *Alsos*, Schuman, New York, 1947.
58. G. E. Uhlenbeck, *Oude en nieuwe vragen der natuurkunde*, North-Holland, Amsterdam, 1955.
59. A. Pais and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **116**, 250, 1959.
60. E. G. D. Cohen, *Am. J. of Phys.* **58**, 618, 1990.
61. Ref. 52, p. 93. Подробно о ранних годах квантовой статистики см. A. Pais, *Subtle is the Lord*, chapter 23, Oxford University Press, Oxford and New York. 1982.

62. G. E. Uhlenbeck, in *Some Strangeness in the Proportion* (H. Woolf, Ed.), p. 524, Addison-Wesley, Reading, MA, 1980.
63. A. Einstein, *Berl. Ber.* 1925, p. 3.
64. B. Kahn and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **5**, 399, 1938.
65. S. Putterman and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Fluids* **12**, 2299, 1969; те же и М. Кас, *Phys. Rev.* **29**, 546, 1972.
66. M. H. Anderson *et al.*, *Science* **269**, 198, 1995; C. C. Bradley *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 1687, 1995; K. B. Davis *et al.*, *ibid.*, **75**, 3969, 1995.
67. G. E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, *Phys. Rev.* **34**, 145, 1929. Другие статьи можно найти в юбилейном издании, посвященном Питеру Зеemannу, p. 201, Nyhoff, The Hague, 1935.
68. G. E. Uhlenbeck and L. S. Ornstein, *Phys. Rev.* **36**, 823, 1930.
69. M. C. Wang and G. E. Uhlenbeck, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 323, 1945.
70. R. Fox and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Fluids*, **13**, 1893, 2881, 1970.
71. B. Kahn and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **4**, 1155, 1937, and ref. 64.
72. R. Riddell and G. E. Uhlenbeck, *J. Chem. Phys.* **21**, 2056, 1953.
73. См. обзор by G. E. Uhlenbeck and G. W. Ford, in *Studies in Statistical Mechanics* (J. deBoer and G. E. Uhlenbeck, Eds), Vol. 1, p. 119, North-Holland, Amsterdam, 1962. Перевод на русский: Дж. Уленбек, Дж. Форд *Лекции по статистической механике*, М.: Мир, 1965.
74. P. Hemmer, M. Кас, and G. E. Uhlenbeck, *J. Math. Phys.* **4**, 216, 229, 1963; **5**, 60, 1974. Русский перевод в приложении III книги М. Каса *Вероятность и смежные вопросы в физике*, М.: Мир, 1965.
75. G. E. Uhlenbeck, *Van der Waals Revisited*, North-Holland, Amsterdam, 1964.
76. C. S. Wang and G. E. Uhlenbeck, in ref. 73, Vol. 2, p. 743, 1964.
77. G. E. Uhlenbeck and E. Beth, *Physica*, **3**, 729, 1936; **4**, 915, 1937. See also G. E. Uhlenbeck and L. Gropper, *Phys. Rev.* **41**, 79, 1932.
78. E. Uehling and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **43**, 552, 1933; **46**, 917, 1934.
79. S. Putterman, M. Кас, and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev. Lett.* **29**, 546, 1972.
80. G. E. Uhlenbeck and C. van Lier, *Physica* **4**, 1155, 1937.
81. A. Nordsieck, W. Lamb, and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **7**, 344, 1940; W. Scott and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **62**, 497, 1942.
82. W. Chang and G. E. Uhlenbeck, in ref. 73, Vol. 5, 17, 1970.
83. W. Chang and G. E. Uhlenbeck, in ref. 73, Vol. 5, 27, 1970.
84. J. L. Lawson and G. E. Uhlenbeck, *Threshold Signals*, McGraw-Hill, New York, 1950.
85. Samples: G. E. Uhlenbeck, in *Proceedings of the International Congress of Mathematics*, p. 256, 1958; *Phys. Today* **13**, 16, 1960; *Fundamental Problems in Statistical Mechanics*, Vol. 2, p. 1, North-Holland, 1968; same title. Lectures at Ames. Iowa. 1968.

86. G. E. Uhlenbeck and T. Y. Wu, *Phys. Rev.* **45**, 553, 1934.
87. G. E. Uhlenbeck and H. Wolfe, *Phys. Rev.* **46**, 237, 1934.
88. E. Fermi, *Ric. Scient.* **4**, 491, 1934; *Nuov. Cim.* **11**, 1, 1934; *Zeitschr. f. Physik* **88** 161, 1934. ' '
89. M. Rose and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **48**, 211, 1935; J. Knipp and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **3**, 425, 1936.
90. G. E. Uhlenbeck and H. Kuiper, *Physica* **4**, 601, 1937.
91. M. Hebb and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **5**, 605, 1938.
92. D. Falkoffand G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **79**, 323, 1950.
93. D. Falkoffand G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **79**, 340, 1950.
94. C. S. Wang Chang and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **85**, 684, 1952.
95. E. Konopinski and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **48**, 7, 1935.
96. J. Lawson and J. Cork, *Phys. Rev.* **57**, 982, 1940. See also C. S. Wu, *Rev. Mod. Phys.* **22**, 386, 1950.
97. E. Konopinski and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **60**, 308, 1941.
98. G. E. Uhlenbeck, *Het principe van behoud van energie*, Nijhoff, The Hague, 1936.
99. Например, *The New York Times*, January 29, 1939.
100. Цитируется в J. S. Rigden, *Rabi*, p. 164, Basic Books, New York, 1987.
101. A. Pais and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **75**, 1321, 1949.
102. A. Pais and G. E. Uhlenbeck, *Phys. Rev.* **79**, 145, 1950.
103. Circulatory letter, dated February 14, 1957, signed by K. M. Case, A. Pais, and C. N. Yang.
104. G. E. Uhlenbeck, letter to his Rockefeller University colleagues. May 6, 1985.