



## СОДЕРЖАНИЕ

Una nota autobiografica . . . . .	6
Возвращение на улицу Панисперна . . . . .	26
Энрико Ферми . . . . .	31
И. Я. Померанчук и начало физики высоких энергий . . .	103
Физика элементарных частиц — дорогая вещь! Нужна ли она? . . . . .	110
Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует . . . . .	118
Загадочные нейтрино . . . . .	126
Нейтрино в лаборатории и во вселенной . . . . .	139
Открытие медленных нейтронов: некоторые воспоминания . . . . .	172
<i>С. С. Герштейн.</i> Воспоминания и размышления о Бруно Понтекорво . . . . .	179
<i>Ж. Лаберриг-Фролова.</i> Бруно Понтекорво и Париж . . .	213
<i>Г. Пираджино.</i> Встречи с Бруно Понтекорво . . . . .	229
<i>П. Стролин.</i> Хиросима никогда не должна повториться .	236

## UNA NOTA AUTOBIOGRAFICA

От моего учителя Энрико Ферми я много раз слышал, что амбиции увеличиваются с возрастом. То, как я пришел к тому, чтобы написать эти автобиографические заметки, служит доказательством справедливости этого утверждения. Уже в течение многих лет научно-технические выпуски, издаваемые издательством Арнольдо Мондадори в рамках серии «Современные ученые и технологи», объединяют биографии многих ученых, включая некоторых моих знакомых и мою собственную. Новый подход этого издания состоял в том, что в большинстве случаев биографии ученых были написаны ими самими, т. е. это были автобиографические заметки. В моем же случае была опубликована биография, так как, насколько я помню, я ответил категорическим отказом на просьбу редактора прислать автобиографию, да еще снабженную собственными фотографиями. В то время я считал, что выполнить такую просьбу было бы актом чудовищного тщеславия. Спустя много лет я спокойно пишу автобиографические заметки и посылаю свои фотографии, доказывая тем самым, что «амбиции увеличиваются с возрастом».

\* \* \*

Родился я в городе Пизе в 1913 г. в благополучной многодетной семье: отец — промышленник, мать — дочь врача, пять братьев и три сестры, из которых наиболее известны биолог Гуидо и кинорежиссер Джило.



Бруно Максимович Понтекорво (1913—1993) — итальянский и советский физик, академик АН СССР, иностранный член Национальной академии деи Линчеи (1981). Лауреат Ленинской премии (1963) и Сталинской премии (1953)

Родители, люди консервативные, были довольно авторитарны и имели весьма определенное мнение (которое скрывали) о каждом из нас, о чем я узнал, подслушивая и делая выводы: по их мнению, Гуидо был самым умным из детей, Паоло — самым серьезным, Джулиана — самой воспитанной, Бруно — самым добрым, но и самым ограниченным, что было видно по его глазам, добрым, но лишенным ума... Думаю, что этому мнению я обязан своей застенчивостью, комплексом неполноценности, который преследовал меня почти всю мою жизнь.

Хочу подчеркнуть, что большое влияние на мое формирование имела глубокая любовь отца к справедливости. Вот характерный и занятный эпизод. Мой отец очень уважал некоего человека по имени Данило, рабочего с фабрики Понтекорво, который в начальный период фашизма организовал забастовку. В связи с этим к моему отцу пришел чиновник (впоследствии ставший министром внутренних дел Республики Сало) — Гуидо Буффарини Гуиди, который хотел узнать имена «зачинщиков» забастовки. На отказ моего отца быть шпионом Буффарини вызвал его на дуэль (которая, к счастью, не состоялась). Этот эпизод с дуэлью очень нас развеселил и еще более укрепил наше уважение к отцу.

В школе я учился умеренно хорошо, но самым важным делом в моей жизни был теннис, настоящим знатоком которого я до сих пор с гордостью себя считаю. Я поступил на инженерный факультет Университета в Пизе, и в течение двух лет у меня были приличные отметки. Однако мне не нравилось черчение, и я решил бросить технику и перейти на третий курс физического факультета. Мой брат Гуидо авторитетно меня поддержал: «Физика! Значит, тебе придется ехать в Рим. Там находятся Ферми

и Разетти!» Я поехал в Рим, где Ферми и Разетти устроили мне неофициальный экзамен. После экзамена, во время которого я, очевидно, показал весьма посредственные знания, Ферми высказал некоторые замечания, которые определили выбор моей профессии и которые стоит здесь привести: «Физика одна, но, к несчастью, сегодня физики делятся на две категории — теоретиков и экспериментаторов. Если теоретик не обладает исключительными способностями, то его работа лишена смысла. Что же касается экспериментальной физики, здесь существует возможность полезной работы, даже если человек обладает средними способностями».

Итак, я поступил на третий курс физико-математического факультета Римского университета, причем подразумевалось, что в будущем я должен заниматься исследованиями экспериментального свойства. Это оказалось самым важным событием в моей научной жизни: сначала как студент, а потом как сотрудник, с 1931 по 1936 г. я оказался в группе, руководимой Ферми (группе парней с улицы Панисперна, как ее окрестили журналисты: Ферми, Разетти, Амальди, Сегре...). Ферми не только учил физику своих учеников. Личным примером он передал им свою глубокую страсть к физике, в которой прежде всего любил и подчеркивал простоту. Он учил понимать дух и этику науки. У Ферми я научился презирать научный авантюризм и субъективизм, не одобрять атмосферу «охоты за открытиями», царящую в некоторых исследовательских институтах, и относиться с антипатией к тем, кто в физике усложняет, вместо того чтобы упрощать. Те, кому посчастливилось заниматься исследованиями вместе с Ферми и работать под его руководством, всегда вспоминают его как непогрешимого «папу» физиков, как его называли сотрудники института.

Я защитил диплом в 1933 г., в двадцать лет. После чего я стал ассистентом Орсо Марио Корбино и принял участие в экспериментальных исследованиях Ферми и его группы, в частности в открытии медленных нейтронов. Эти исследования открыли дорогу известным практическим применениям нейтронов (ядерной энергии, изотопам в медицине и, что достойно позора, войне).

Вот следствия этих исследований для некоторых членов группы Ферми: они принесли Нобелевскую премию Ферми, определенная слава досталась даже младшему участнику группы, все получили патент на изобретение, который спустя много лет был продан правительству Соединенных Штатов Америки за внушительную сумму, давно уже выплаченную изобретателям (всем, кроме меня), мне была присуждена премия Министерства национального образования, благодаря которой я поехал в 1936 г. в Париж работать с Ф. Жолио-Кюри.

В Институте радия, а потом в Коллеж де Франс я заинтересовался ядерной изомерией, над которой работал практически в одиночку (пользуясь ценными советами моего второго учителя Ф. Жолио), движимый некоторыми своими теоретическими идеями. Я предсказал существование стабильных (относительно бета-радиоактивности) ядерных изомеров и экспериментально нашел (1938 г.) первый пример: кадмий, возбужденный быстрыми нейтронами. Я предсказал, что переходы между изомерами, в общем, должны иметь очень большие коэффициенты внутренней конверсии, и независимо, но несколько раньше Г. Сиборга и Э. Сегре, занялся поиском и нашел (1938 г.) на примере родия, а также в других случаях, радиоактивные ядра нового типа в том смысле, что они распадаются, испуская монохроматическую ли-

нию электронов вместо обычного непрерывного бета-спектра. Наконец, совместно с А. Лазардом мне удалось получить (1939 г.) бета-стабильные изомеры ( $^{115m}\text{In}$  и другие) путем облучения стабильных ядер ( $^{115}\text{In}$  и других) непрерывным спектром рентгеновского излучения высокой энергии (3 МэВ). Ф. Жолио очень понравился этот эффект, и он назвал его «ядерной фосфоресценцией». Я послал свою работу, посвященную «фосфоресценции», Ферми, который, хотя и не был человеком, склонным к похвале, поздравил меня «с отличным результатом исследования». Это долго доставляло мне огромное удовольствие, поскольку я был убежден, что Ферми (который в Риме привык называть меня «большим чемпионом») имел некоторое уважение ко мне только как к эксперту по теннису. За исследование изомерии я получил премию Кюри — Карнеги.

В Париже я женился на шведской девушке. У нас трое сыновей; старший родился в Париже, он сейчас физик; двое других родились в Канаде, один — океанолог, другой — инженер по электронной технике. Сегодня мы все живем в Москве и Дубне.

В 1940 г., после поражения Франции, я поступил на работу в частную американскую фирму и поехал в Оклахому (США), где в течение двух лет занимался реализацией геофизического метода зондирования нефтяных скважин, так называемого метода нейтронного каротажа, который до сих пор продолжает играть заметную роль в экономике нефтяных полей во всем мире. Кстати, нейтронный каротаж, мной изобретенный и реализованный на практике, занимает первое место в хронологии важных практических применений нейтрона (1941 г.). Денег, однако, я заработал очень мало, поскольку, как раз когда посыпались

выгодные предложения частных фирм, я решил принять предложение занять место исследователя в англо-франко-канадском атомном проекте, в котором работали многие известные ученые, с которыми я был знаком; среди них были К. Оже, Б. Гольдшмидт, Х. Халбан, Л. Коварский, Г. Плачек. По всей видимости, мне не суждено заработать деньги на патентах, изобретениях и прочих подобных вещах. Мое знакомство с нейтронами, обретенное на ул. Панисперна, существенно помогло мне во время работы на нефтяных полях и еще больше в период с 1943 по 1948 г., когда я работал в Канаде (сначала в Монреале, а потом в Чок-Ривере) над проектом и введением в строй ядерного реактора NRX (обычный уран и тяжелая вода) в качестве научного руководителя физического проекта. Этот реактор был спроектирован как исследовательский реактор на максимальную интенсивность и максимальный поток тепловых нейтронов, равный  $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Знание физики реакторов оказалось весьма полезным, когда я начал планировать эксперименты с целью зарегистрировать нейтрино и антинейтрино в свободном состоянии.

Как раз в Канаде я начал исследования в области физики элементарных частиц, которые потом были продолжены в России, куда мы с семьей переехали в сентябре 1950 г. (после короткого пребывания в Харуэлле в Англии).

Тогда, как и сегодня, я считал ужасно несправедливым и аморальным крайне враждебное в конце войны отношение Запада к Советскому Союзу, который за счет неслыханных жертв внес решающий вклад в победу над нацизмом; что же касается моих политических убеждений, я коротко коснусь их в конце этих заметок. С 1950 г. и по сей день я работаю в Дубне в качестве руководителя от-

дела экспериментальной физики в Лаборатории ядерных проблем.

Как только я узнал о классическом эксперименте М. Конверси, Е. Панчини и О. Пиччиони (1947 г.), из которого следовало, что взаимодействие мюона и протона не является сильным, я интуитивно почувствовал глубокую аналогию между мюоном и электроном, на что меня натолкнуло мое наблюдение, что процессы захвата этих частиц ядром имеют сравнимые вероятности (если принять во внимание разницу между объемами, которые занимают мюонные и электронные орбиты). Так, я тогда предсказал, что в процессе захвата мюона должно принимать участие нейтрино согласно следующей схеме:  $\mu + p \rightarrow \nu + n$ . Идея глубокой аналогии между различными процессами привела к понятию «слабого взаимодействия» и была выражена мной (1947 г.) и впоследствии О. Клейном и Г. Пуппи (1948 г.). Эта аналогия служит отправной точкой для универсальной теории слабых взаимодействий Ферми. Ведомый этой аналогией, я предложил и выполнил несколько экспериментов, в которых были установлены различные фундаментальные свойства мюона: установлено отсутствие процесса  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$ ; показано, что заряженная частица, испускаемая при распаде мюона, является электроном; показано, что при распаде мюона испускаются три частицы; найдено, что зависимость асимметрии электронов, испущенных поляризованными мюонами, от энергии соответствует теории двухкомпонентного нейтрино; доказана «нейтринная» природа нейтральных частиц, испускаемых при захвате мюона ядром (эксперимент выполнен с помощью регистрации и количественного анализа реакции  $\mu + {}^3\text{He} \rightarrow \nu_\mu + {}^3\text{H}$ , про исходившей в диффузионной камере, наполненной  ${}^3\text{He}$ ). Первые три

результата были получены (и отмечены премией Королевского общества Канады) в 1948–1949 гг. совместно с Э. П. Хинксом во время работы в Чок-Ривере с космическими мюонами, а последние два были получены в 1958 г. совместно с А. Мухиным и в 1961 г. совместно с Р. Суляевым и др. на пучках искусственных мюонов синхротронотрона. Найденная величина вероятности захвата мюона в  ${}^3\text{He}$  подтвердила исходную идею мюон-электронной симметрии. В эксперименте другого типа, выполненном в Дубне с искусственными мюонами, мы открыли (1959 г.) явление безрадиационных переходов в мю-мезоатомах — новое явление, в котором энергия  $2P-1S$  мюонного перехода непосредственно возбуждает атомное ядро без испускания мюонного рентгеновского гамма-кванта, соответствующего этому переходу.

Все работы периода 1951–1954 гг. опубликованы в виде внутренних отчетов, некоторые из них были впоследствии опубликованы в открытой печати (1955 г.). В 1951 г. я заметил явное противоречие между большой вероятностью рождения некоторых частиц (которые сегодня, кстати, называют странными) и их большим средним временем жизни и в 1953 г. независимо от А. Пайса предсказал закон ассоциативного рождения  $K$ -мезонов совместно с гиперонами. В одном моем эксперименте, выполненном совместно с Г. Селивановым и др. (1955 г.), было показано, что нуклоны с энергией 700 МэВ не вызывают реакций  $N \rightarrow N + \Lambda^0$  и  $n + n \rightarrow \Lambda^0 + \Lambda^0$ , где  $n$ ,  $N$ ,  $\Lambda^0$  обозначают нуклоны, нейтроны и  $\Lambda^0$ -гипероны. Отсутствие первой реакции противоречило ошибочному результату, полученному М. Шеиным и считавшемуся в то время правильным, и подтверждало закон, упомянутый выше; отсутствие второй реакции, хотя тоже противоречило эксперименту

Шейна, подвело меня к заключению, что изотопический спин каона равен  $1/2$  (т. е. что  $K^0$  и  $\bar{K}^0$ -мезоны не являются одинаковыми объектами).

Анализируя совместно с Л. Окунем осцилляции типа осцилляций между  $K^0$  и  $\bar{K}^0$ , мы показали (1957 г.), что в слабых процессах первого порядка странность не может меняться более чем на единицу ( $\Delta S \leq 1$ ).

В 1959 г. я заметил, что нейтрино высоких энергий, испущенные при распадах пионов, рожденных на современных ускорителях, могут (и должны!) быть использованы для расширения наших знаний в области слабых взаимодействий, и в этой связи я предложил некоторые эксперименты. В частности, я показал, что можно экспериментально решить проблему, являются ли нейтрино, испущенные при распаде пиона ( $\nu_e$ ), и нейтрино, испущенные в обычном бета-процессе ( $\nu_\mu$ ), тождественными частицами. Таким образом, моя работа «Электронные и мюонные нейтрино» (1959 г.) явилась началом физики нейтрино высоких энергий. Как известно, эксперимент, выполненный несколько лет спустя в Соединенных Штатах, показал, что существует по крайней мере два разных сорта нейтрино. Из-за отсутствия в то время в Советском Союзе адекватных ускорителей я не мог выполнить первые эксперименты на уровне слабых взаимодействий. Тем не менее совместно с В. Векслером и др. мы выполнили первое экспериментальное исследование, в котором использовались нейтрино высоких энергий (хотя и относительно низкой интенсивности): используя синхрофазотрон ОИЯИ, мы пытались обнаружить возможность существования аномального взаимодействия мюонного нейтрино с нуклоном, т. е. пытались обнаружить реакцию  $\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + N$  на уровне вероятности, на несколько

порядков превышающую соответствующую вероятность слабых процессов. В работе, которая дала отрицательный результат, впервые было отмечено, что именно эксперименты такого типа, естественно, намного более чувствительные, должны дать ответ на вопрос о существовании или отсутствии так называемых нейтральных слабых токов. Как известно, существование нейтральных токов было открыто в ЦЕРН в 1973 г. в эксперименте, в котором были использованы интенсивные пучки нейтрино высоких энергий. За исследования в области физики слабых взаимодействий и нейтрино в 1963 г. мне была присуждена Ленинская премия.

Когда в конце 1950 г. я приехал в Россию, в Дубне уже некоторое время назад был введен в эксплуатацию синхроциклотрон, который в то время был самым мощным в мире. Теперь я коротко коснусь некоторых исследований в области сильных взаимодействий (1950–1976 гг.). Используя этот ускоритель, мы в сотрудничестве с Г. Селивановым впервые обнаружили и изучили количественно рождение нейтральных пионов в столкновениях нейтронов с протонами и в столкновениях нейтронов с различными атомными ядрами. За эти исследования в 1953 г. нам была присуждена Государственная премия. Итак, вместе с А. Мухиным и С. Коренченко я отдался экспериментальному исследованию взаимодействия между пионами и нуклонами, независимо, хотя и позже, подтвердив при этом то, что было с громадным успехом получено Э. Ферми и др. в Чикаго с пион-нуклонной системой, имевшей угловой момент  $3/2$  и изотопический спин  $3/2$ . Вместе с моим сотрудником А. Куликовым позже (1976 г.) на большом серпуховском ускорителе (70 ГэВ) мы провели эксперимент, давший



Бруно Понтекорво с женой Марианной. Париж. 1938 г.

отрицательный результат, в поисках ядерных изомеров плотности, существование которых возможно согласно идее пионной конденсации в ядрах. Наконец, я хотел бы упомянуть метод регистрации «прямых» нейтрино (т. е. рожденных не при распаде пионов и каонов, а при распаде частиц с очень коротким средним временем жизни), предложенный мной для изучения рождения новых частиц при столкновениях нуклонов с ядрами (эксперимент типа «beam dump»). Применения метода в случае рождения частиц с очарованием обсуждались мной (1975 г.) еще раньше обнаружения самих частиц с очарованием. И сам метод был использован при открытии (ЦЕРН) рождения частиц с очарованием в столкновениях нуклонов с ядрами.

Проблемам, связанным с массой нейтрино и нарушением лептонного заряда, я посвятил серию теоретических работ, в которых обсуждаются чрезвычайно маловероятные процессы, как, например, переходы мюоний — антимюоний, двойной бета-распад без испускания нейтрино (возможно, вызванный новым, сверхслабым, взаимодействием первого порядка, при котором лептонный заряд не сохраняется), процессы типа  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$ , осцилляции между различными нейтринными состояниями. В моей работе «Мюоний и антимюоний» (1957 г.) впервые обсуждается возможность переходов  $(\mu^+e^-) \rightarrow (\mu^-e^+)$ , и эти рассуждения подтолкнули многих физиков к обсуждению различных форм, которые могло бы принять нарушение лептонного заряда. В той же работе я впервые рассматривал осцилляции между различными состояниями нейтрино, которые могут иметь место, если массы нейтрино не все тождественно равны нулю. Над проблемой нейтринных осцилляций, которой я посвятил много тео-

ретических исследований, я продолжаю работать и сейчас. Исследования осцилляций нейтрино, выполненные либо только мной, либо в сотрудничестве с С. Биленьким и В. Грибовым, открыли новые области исследования в физике частиц и в астрофизике и привели к зарождению большого количества теоретических и экспериментальных поисков во всем мире, причем действующими лицами были как искусственные нейтрино, полученные с помощью мощных радиоактивных источников, ядерных реакторов и ускорителей, так и естественные нейтрино, солнечные и космические. Подчеркну два момента, представляющих большой интерес:

1) большую чувствительность метода осцилляций нейтрино для обнаружения исключительно маленькой разницы между массами нейтрино;

2) решающее значение, понятое мной уже в 1967 г., существования или отсутствия осцилляций нейтрино для интерпретации будущих наблюдений солнечных нейтрино.

Электронные нейтрино  $\nu_e$ , выходящие из Солнца, могут на своем пути к Земле превратиться в «стерильные» нейтрино, которые невозможно обнаружить с помощью детектора  $\nu_e$ , что приведет к кажущемуся ослаблению интенсивности солнечных нейтрино. Такое ослабление зависит от количества нейтрино, от их массы и от углов смешивания. Огромное расстояние от Солнца до Земли и относительно низкая энергия нейтрино, испущенных Солнцем, приводят к тому, что в благоприятных случаях кажущееся ослабление потока солнечных нейтрино может, в принципе, быть определено, даже если разность квадратов масс регистрируемых нейтрино всего лишь  $10^{-12}$  эВ<sup>2</sup>!