

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ЭНРИКО ФЕРМИ (1901—1954)

(К годовщине смерти)

Бруно Понтекорво

Среди современных нам учёных великий итальянский физик Энрико Ферми занимает особое место. В наше время, когда узкая специализация в научных исследованиях стала обычным явлением, трудно указать столь универсального физика, каким был Энрико Ферми. Он внёс большой вклад в развитие теоретической, экспериментальной и даже технической физики. Не удивительно, что советские физики, как и физики всего мира, так остро восприняли утрату Ферми, первая годовщина смерти которого отмечается 28 ноября этого года.

Ферми родился в Риме 26 сентября 1901 г. в семье простого служащего. Если можно говорить о призвании, то, без сомнения, Ферми был рождён физиком. Несмотря на то, что в семье и среди окружающих никто не побуждал его к занятиям наукой, Ферми ещё мальчиком проявляет исключительный интерес к математике и физике. Он без посторонней помощи с энтузиазмом читает и осваивает содержание ряда книг по физике и высшей математике. Разнообразный «ассортимент» книг по физике, которые Ферми читал, будучи ещё мальчиком, включает в себя, наряду со случайными книгами, как, например, один из старинных курсов физики и математики, написанный ещё на латинском языке, также работы вроде широко известного курса физики Хвольсона.

Но не только в книгах ищет Ферми объяснение происходящего вокруг него; он самостоятельно пытается проанализировать заинтересовавшие его явления. Часто на решение научных проблем его наталкивают игрушки. Таким образом, например, совершенно самостоятельно Ферми разработал теорию волчка, радуги, колеблющейся струны и др.

Когда Ферми был принят студентом в Пизанский университет в 1918 г., он уже знал классическую физику. Насколько глубоко он владел этой областью науки в то время, можно судить по его

словам, сказанным в 1934 г.: «Когда я поступил в университет, классическую физику и теорию относительности я знал так же, как и теперь».

В университете профессора не смогли дать ему ничего нового: уже в то время Ферми разбирался в проблемах физики лучше своих учителей. Большую пользу принесло Ферми общение с талантливым однокурсником Франко Разетти. В частности, совместное обсуждение вопросов теоретической физики помогло развитию проявившихся впоследствии исключительных дидактических способностей Ферми.

В этот период времени Ферми посвящает себя глубокому изучению квантовой физики, которая в то время была ещё не известна в Италии. Ещё до получения степени (в 1922 г.) Ферми написал несколько теоретических работ в области классической механики, статистической механики и теории относительности. Диссертацией (соответствующей нашей дипломной работе), однако, явилось экспериментальное исследование по рентгеновской спектроскопии.

После получения степени Ферми на короткое время едет за границу (Германия, Голландия). В это время Ферми не знал собственных сил. В Италии не было физиков, с которыми бы он мог сравнить себя, и молодой Ферми не имел той уверенности в себе, которая так необходима для творческой работы. Как рассказывал сам Ферми, он, наконец, обрёл такую уверенность благодаря известному физику Эренфесту, который не замедлил сказать ему, что он имеет дар крупного физика. Моральная поддержка, которую оказал ему Эренфест во время его поездки в Голландию, имела в жизни Ферми даже большее значение, чем его встречи за границей с такими блестящими молодыми физиками-теоретиками, как Паули и Гейзенберг, которым, в отличие от Ферми, посчастливилось учиться у таких больших учёных, как Зоммерфельд и Борн.

Во время преподавательской деятельности во Флоренции Ферми опубликовал (1926) свою знаменитую работу¹ о статистической механике частиц, подчиняющихся принципу Паули. В этой работе были заложены основы так называемой статистики Ферми—Дирака. Как известно, основное значение статистики Ферми—Дирака заключается в том, что она дала ключ для понимания свойств электронов в металлах. Но и другие применения статистики Ферми весьма многочисленны, что иллюстрируется множеством выражений, вошедших в научную литературу, таких, как газ Ферми, фермион, модель ядра по Ферми, модель атома Томаса—Ферми, фермиевские моменты нуклонов в ядре и т. д.

После открытия статистики, которая носит его имя, Ферми стал хорошо известен сначала за пределами Италии, и только потом, как это ни странно, на родине.

В 1928 г. он был приглашён на место профессора теоретической физики Римского университета, и, когда ему было всего 27 лет,

он был избран членом Королевской Академии Италии. В 1929 г. Ферми был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. Впоследствии он избирался членом многих Академий наук всего мира.

Ферми создал итальянскую школу современной физики. Многие из его учеников, такие как Разетти, Амальди, Сегре, Вик, Рака, Росси, Ферретти, Бернардини, Коккони, стали широко известными физиками.

О неизгладимом следе, оставленном Ферми в развитии итальянской физики, можно судить по тому, что в настоящее время, почти через 20 лет после того, как он покинул свою родину, там успешно работает группа довольно известных молодых физиков, продолжающих традицию современного высококачественного исследования, созданную самим Ферми.

В период с 1930 г. по 1938 г., впервые в этом столетии, благодаря Ферми иностранные физики потянулись к итальянскому центру исследований. Эти физики, среди которых были Бете, Баба, Блох, Лондон, Пайерлс, Плачек, Теллер, Уленбек, принимали участие в семинарах Римского института физики вместе с небольшой группой итальянских учёных, одного из которых — Майорана — Ферми считал крупнейшим физиком-теоретиком нашего времени. Семинары Ферми протекали в непринуждённой обстановке и всегда много давали их участникам.

Ферми был приспешенным учителем. Его лекции в университете по квантовой механике, атомной физике, математической физике, термодинамике и его любимый курс по геофизике отличались большой ясностью и стройностью изложения, что, однако, не было результатом особой подготовки к лекциям (Ферми почти никогда не готовился к ним), но объяснялось глубокими знаниями и исключительной ясностью ума учителя. В конечном счёте качество лекций являлось отражением его самостоятельной работы, проводимой ещё школьником, когда он пытался осознать и понять различные явления природы.

В физике, по мнению Ферми, нет места для путаных мыслей: физическая сущность любого действительно понятного вопроса может быть объяснена без помощи доски для записывания сложных формул. Правильность такого мнения иллюстрировалась замечательной способностью Ферми быть понятным слушателям самого различного уровня.

Ферми всегда подчёркивал огромную важность для студентов хорошей подготовки по классической физике, и он сам любил читать лекции по элементарной физике. Общий курс математической физики, прочитанный Ферми в Риме, представлял собой нечто вроде энциклопедии, содержавшей элементы электродинамики, теорий потенциала, относительности, распространения тепла, диффузии и упругости; он очень возражал против курса математической физики монографического типа.

Невозможно провести грань между Ферми-физиком и Ферми-человеком. Своих студентов и сотрудников Ферми учил не только физике в прямом смысле этого слова. Собственным примером он учил их страстно любить физику, равно как и понимать дух и этику науки. Ферми упорно подчёркивал исключительную моральную ответственность учёного при опубликовании научной работы; в частности, он нетерпимо относился к часто встречающейся тенденции экспериментаторов переоценивать точность своих измерений.

Для Ферми интересы науки всегда были выше личных интересов. На вопросы, связанные с собственным приоритетом, он не обращал никакого внимания. Он всегда подчёркивал вклад сотрудников в свои исследования. Энрико Ферми был необычайно простым и скромным. Рамки этой статьи, автору которой выпало счастье учиться у Ферми и работать под его руководством, не позволяют со всей полнотой охарактеризовать этого замечательного учёного и человека.

Пленительная ясность мыслей, характерная для лекций Ферми, выделяет также все его книги (Ферми написал их семь) и статьи, как обзорные, так и оригинальные. Некоторые его книги хорошо известны в Советском Союзе. Однако его двухтомный «Курс элементарной физики» для средних школ и великолепное «Введение в атомную физику» (служившее в качестве учебника теоретической физики в Римском университете), в СССР почти не известны.

Ферми писал свои книги так же, как и читал лекции, — предельно ясно и, казалось, с минимальным усилием. Некоторые физики помнят, как они, тогда студенты, занимались по его книге «Молекулы и кристаллы», когда автор ещё писал её. Каждое утро, между 6 и 8 часами, Ферми аккуратно писал на нечётных страницах тетради, оставляя чистыми чётные страницы для поправок. Однако, когда рукопись книги была готова к печати, число поправок оказалось буквально ничтожным.

Удивляло также то, что Ферми мог писать, почти не прибегая к другим статьям или книгам. Вообще Ферми мало читал, а тем более мало покупал книг по физике после окончания университета; он предпочитал разрабатывать данный вопрос сам, нежели находить готовый ответ.

Ферми также проводил сравнительно мало времени за научными журналами, хотя он всегда был великолепно осведомлён о происходящем в мире физики. Это достигалось «вытягиванием», по выражению самого Ферми, сведений в непосредственном разговоре с другими физиками. Вспоминается случай, хорошо показывающий ещё одну характерную для Ферми черту — способность давать советы людям, работающим даже в узких областях применения физики, с которыми Ферми сам был мало знаком. В 1942 г. мне довелось встретиться с Ферми в Чикаго. Я в то время работал в области применения ядерной физики в разведке местонахождений

нефти (нейтронный кароттаж и гамма-кароттаж). Поскольку Ферми не имел сведений, касающихся кароттажа, он, конечно, начал «вытягивать» их из меня. Вскоре он уже сам давал мне советы и высказывал многочисленные идеи, послужившие основой для дальнейшей длительной работы в этой области.

Среди многочисленных теоретических работ Ферми, появлявшихся начиная со времени опубликования работы по статистике до 1934 г., когда он начал работать в области ядерной физики, следует отметить метод Томаса—Ферми² (1928)—применение статистики Ферми к определению среднего электрического потенциала в атоме, теорию сверхтонкой структуры спектральных линий³ (1933) и его переформулировку квантовой электродинамики⁴ (1932), которая представляет собой блестящий пример ясной трактовки трудного вопроса.

В качестве «дебюта» в области ядерной физики Ферми опубликовал в 1934 г. свою известную теорию β -распада — классическую работу⁵, основанную на предположении Паули о том, что в β -процессе электрон испускается одновременно с нейтрино. Имеющая сама по себе большое значение эта работа явилась и прототипом современных теорий взаимодействий элементарных частиц. Многие физики в настоящее время считают, что найденное Ферми взаимодействие между нуклонным полем и полем пары электрон—нейтрино представляет собой особый случай более общего взаимодействия между любыми четырьмя фермионами — так называемое взаимодействие Ферми, крайне малая интенсивность которого определяется величиной «константы Ферми».

Несмотря на то, что исследовательская деятельность Ферми до 1934 г. носила теоретический характер, скрытый экспериментатор изредка пробуждался в нём. Был, например, такой случай: однажды Ферми получил корректуру своей книги «Молекулы и кристаллы»; один из снимков, на котором было изображено чередование интенсивностей в молекулярном спектре азота, не удовлетворил автора книги. Ферми немедленно нашёл свободный подходящий спектрограф (это было в Римском институте физики, фактически являвшемся в то время лабораторией спектроскопии) и, превратившись в экспериментатора, изготовил нужный для книги хороший снимок.

Первые же крупные экспериментальные работы Ферми выполнил в области ядерной физики (1934). Этим работам^{6, 7}, за которые Ферми получил Нобелевскую премию, предшествовали два события: поездка Разетти в Германию с целью изучения ядерной экспериментальной методики и обсуждение на семинаре института под руководством Ферми классической книги Резерфорда по радиоактивности.

Тут же после открытия Фредериком и Ирэн Жолио-Кюри явления искусственной радиоактивности Ферми пришёл к выводу, что нейтроны, поскольку они не имеют заряда, должны особенно

эффективно образовывать радиоактивные элементы, и со свойственной ему энергией начал систематическую бомбардировку нейтронами почти всех существующих элементов. Нет необходимости напоминать здесь о всех поразительных результатах экспериментов Ферми — образование более шестидесяти радиоактивных элементов; открытие замедления нейтронов и их большой вероятности захвата в таких элементах, как кадмий и бор; «группы» нейтронов и т. д. Все эти блестящие и совершенно неожиданные открытия были опубликованы в виде коротких сообщений в итальянском журнале «*Ricerca Scientifica*», превратившемся благодаря Ферми из совершенно неизвестного издания в журнал международного значения. Только за год лаборатория спектроскопии превратилась в первоклассную, хотя и маленькую, лабораторию ядерной физики.

Римская лаборатория была действительно маленькой. Общее число научных работников и механиков, работавших с Ферми, едва доходило до десяти. Ежегодно диплом по физике получали, в среднем, один-два студента, несмотря на то, что на физико-математическом факультете профессорами были Ферми, Разетти, Вольтерра, Леви-Чивита... Малое число дипломантов объяснялось неблестящими перспективами, ожидавшими молодых физиков-итальянцев в то время.

Что касается средств, необходимых для исследовательских работ, то фашистское правительство, так щедро помогавшее крупным промышленникам, оказалось довольно скупым, когда речь шла о средствах для науки. Однажды, с целью экономии средств, Ферми решил, что стандартные электрические вилки следует изготавливать в лабораторной мастерской: он провёл два дня с механиком, стараясь найти удобный способ их изготовления, но после этого ему пришлось оставить своё предложение, как неэкономичное.

Участие Ферми в качестве исполнителя в экспериментальной работе было всегда непосредственным, он не только руководил, но и любил работать своими собственными руками. В частности, Ферми был неплохим стеклодувом. Непосредственное и повседневное участие Ферми в работе, руководимой им, было возможно только потому, что он настойчиво и упрямо отказывался занимать административные должности. Немногие знают, что он никогда не был во главе лабораторий, в которых работал.

Ферми в лаборатории всегда сохранял неизменное спокойствие. Говорили, что в 1942 г., когда первый ядерный реактор, построенный им, приближался к критическим условиям, Ферми прервал общее напряжение известной фразой: «Пойдём обедать». Почти за десять лет до этого случая, когда в Римском институте физики неожиданно было обнаружено увеличение радиоактивности, вызванной нейтронами, обусловленное наличием водородосодержащих веществ, Ферми охладил пыл своих сотрудников той же фразой: «Пойдём обедать». К концу обеда Ферми уже объяснил открытие (эффект Ферми) как явление замедления нейтронов и заметил:

«Как глупо, что мы не предсказали это раньше». Примерно через год основы той области физики, которая сегодня носит название «нейтроники», были так ясно сформулированы Ферми, что некоторые его статьи, в частности работы «О движении нейтронов в средах, содержащих водород»⁸ и «Поглощение и диффузия медленных нейтронов»⁹, сегодня, почти 20 лет спустя после опубликования, являются лучшим введением в науку, одинаково интересующую как физиков, так и инженеров.

В опытах, выполненных в Риме в 1934—1935 гг., бомбардировка урана нейтронами вызвала образование ряда радиоактивных элементов, среди которых, по мнению Ферми, был и элемент с атомным номером 93. Как стало ясно впоследствии, эти элементы в действительности оказались продуктами деления, и, хотя при бомбардировке урана образуются трансурановые элементы, сообщение Ферми об элементе 93 было неверно — единственная ошибка в течение его долгой и славной исследовательской деятельности. Это, надо отметить, не затормозило развития исследований, которые вели к открытию деления. Однако Ферми очень переживал опубликование работы по элементу 93.

В Римском институте физики Ферми получил прозвище «папы», с которым все его сотрудники и друзья не только в Риме, но и во всём мире обращались к нему. Прозвище это означало, что Ферми (в области физики!) был непогрешим так же, как считается непогрешимым в вопросах религии глава католической церкви — папа римский. Ферми, конечно, остался «папой» даже после случая с элементом 93.

Во время пребывания в Риме в период фашистской диктатуры Ферми сохранил свою непоколебимую честность, находясь даже в совершенно развращённой фашистской Академии Италии. В частности, в Академии и в университетах он всегда смело боролся за признание научных достижений, а не заслуг перед фашистским государством, как критерия при назначении университетских профессоров.

Однако, общаясь с весьма узким кругом профессоров университета, которым мир героического антифашистского итальянского рабочего класса был совершенно не известен, Ферми не проявлял никакого интереса к политике.

Позднее Ферми пришлось проявить свою антипатию к фашизму более прямо. В 1938 г. он был награждён Нобелевской премией за исследовательские работы по свойствам нейтронов. После введения антисемитских фашистских законов он с семьёй поехал из Стокгольма, куда ездил за премией, прямо в Нью-Йорк, хотя законы эти непосредственно его не касались (жена Ферми была итальянкой еврейской веры, сам он был католиком).

Впоследствии Ферми собственным примером внёс значительный вклад в то, чтобы рассеять весьма распространённое в капитали-

стических странах мнение о том, что «итальянец» и «фашист» — синонимы. И не случайно, что сегодня в Италии именно неофашистская печать не считает для себя позором оскорблять память человека, которым весь итальянский народ вправе гордиться, как одним из своих лучших сынов.

В США Ферми принял должность профессора физики Колумбийского университета. Там он создал (1939) количественную теорию ионизационных потерь энергии заряженными частицами, учитывающую поляризацию вещества, через которое эти частицы проходят¹⁰. Из этой теории, впоследствии проверенной опытом, следует, что тормозная способность веществ зависит от степени их конденсации (фермиевский эффект плотности).

Сразу после открытия деления Ганом и Штрассманом Ферми понял, какие революционные возможности могли вытекать из этого явления. Независимо от группы экспериментаторов, работавших под руководством Жолио-Кюри, Ферми экспериментально доказал¹¹, что при делении испускается несколько нейтронов — обстоятельство, делающее возможной цепную реакцию.

С этого времени (1939) вся деятельность Ферми на несколько лет была посвящена получению атомной энергии из урана: добился он этого в декабре 1942 г.¹². Ферми назвал первый ядерный реактор «pila», что по-итальянски означает что-то сложенное из многих подобных слоёв, подобно тому как вольтов столб — первый источник длительного постоянного тока — по-итальянски называется «pila» Вольты. В Советском Союзе, где впервые в мире построена электростанция, работающая на атомной энергии, всем ясно, что «pila» Ферми имеет не меньшее историческое значение, чем вольтова «pila».

Невозможно дать здесь хотя бы отдалённое представление о колоссальной работе, выполненной Ферми в области атомной энергии. Остаётся надеяться, что многие неопубликованные работы Ферми, имеющие историческое значение, скоро появятся в печати. Работы, выполненные Ферми совместно с Андерсоном, по замедлению и диффузии нейтронов в графите являются примером экспериментального и теоретического мастерства. Многие научные термины, распространённые в этой области, носят имя Ферми: нейтронный «возраст» по Ферми, фермиевская тепловая колонна и др. Здесь же следует напомнить о методе Ферми определения критических размеров реагирующей среды в опытах, выполненных при относительно маленьком количестве ураносодержащего вещества (экспоненциальный опыт Ферми). Опыт, описание которого можно найти во всех книгах, посвящённых ядерным реакторам, так прост, что сегодня трудно представить себе иной подход к рассматриваемому вопросу.

Ферми обладал исключительной физической интуицией, он всегда находил наиболее простые подходы к решению самых сложных

практических задач. Что же касается исследований фундаментального характера, то избранные Ферми большие проблемы становились всегда простыми, хотя такая простота, конечно, наступала только после того, как он их блестяще разрешал.

После войны Ферми принял должность профессора физики Чикагского университета. Используя построенный им реактор в качестве источника нейтронов, он открыл новую главу в области ядерной физики — нейтронную оптику, ряд важных вопросов которой хорошо описан в его переведённой на русский язык книге «Лекции по атомной физике». В этой же книге можно найти обсуждение фундаментальной проблемы нейтронно-электронного взаимодействия, решению которой Ферми посвятил¹³ (1947) остроумный опыт.

Создатель ядерной науки Резерфорд сказал, что ученики не позволяют ему стареть. Это утверждение верно для большинства учителей, достойных этого звания. Что же касается Ферми, то до конца своей жизни он был моложе духом любого своего ученика или сотрудника. И до конца своих дней Ферми оставался студентом, всегда полным страстного желания получить новые знания.

В возрасте около 50-ти лет Ферми, имевший в своём распоряжении ряд реакторов для фундаментальных исследований в крайне интересной, им же созданной области, решает полностью изменить направление своей деятельности и посвящает себя исследованиям частиц высоких энергий. В частности, его привлекает одна из центральных проблем современной физики — проблема мезон-нуклонного взаимодействия. Его работа¹⁴ (1953) о рассеянии положительных и отрицательных π -мезонов разных энергий протонами открыла новую главу экспериментальной и теоретической физики.

В работах по рассеянию π -мезонов на водороде особенно ярко выступает личность Ферми как выдающегося теоретика и экспериментатора. Что он в этих работах участвовал не только как руководитель, но и как непосредственный исполнитель, видно хотя бы из того, что он был ответственным за конструкцию таких деталей, как внутренняя мишень синхроциклотрона, управляемая дистанционно.

В работах о π -мезонах, как и в других работах, неизгладимый след, оставленный Ферми, выразался не только в содержании, но также и в особых методических подходах, в новых научных выражениях и даже в крайне удачных обозначениях. Между прочим, Ферми был того мнения, что вопрос о простоте обозначений имеет первостепенное значение в теоретической физике.

Невозможно получить представление обо всём труде, вложенном Ферми в теоретические работы, только по тем из них, которые опубликованы: для опубликования была отобрана лишь незна-

чительная часть всех работ. Вот почему нет ни одной выдающейся теоретической работы Ферми.

Из теоретических статей Ферми в области высоких энергий особое место занимают две, касающиеся так называемого фермиевского механизма ускорения первичных космических лучей и теории множественного образования мезонов. Обе основаны на идее, столь же простой, как и поразительной.

В основе объяснения¹⁵ (1949) механизма ускорения первичных частиц в космических лучах лежит следующее рассуждение, основанное на принципе равномерного распределения энергии. Рассмотрим соударения микрочастиц с движущимися макроскопическими телами. Хотя в одном столкновении частицы могут потерять или увеличить свою энергию, в конечном счёте имеется тенденция к статистическому равновесию, а это означает, что частицы в среднем ускоряются в соударениях с макроскопическими телами. В теории Ферми заряженные частицы отклоняются магнитными полями, связанными с проводящим газом, и в конце концов стремятся приобрести энергию, равную энергии движущегося газа в целом.

В теории множественного образования частиц¹⁶ (1950) процесс соударения при очень высоких энергиях рассматривается при помощи статистических и даже термодинамических методов. Теория, которую значительно расширили и усовершенствовали советские физики, нашла отражение в одной из недавних статей этого журнала¹⁷.

Все труды Ферми характеризуются крайней конкретностью. Его теории все созданы, чтобы объяснить, скажем, поведение определённой экспериментальной кривой, «странность» данного экспериментального факта и т. д.

В двадцатых годах этого столетия, когда основные принципы физики претерпевали коренную ломку, молодому Ферми без учителей должно было быть крайне трудно ориентироваться. Не исключено, что черты, присущие Ферми — конкретность, ненависть к неопределённости, исключительный здравый смысл, — содействуя ему в создании многих фундаментальных теорий, в то же время в этих условиях не позволили ему создать такие теории и принципы, как квантовая механика, соотношение неопределённостей и принцип Паули.

Недавно один из участников собрания Академии наук СССР, посвящённого мирному использованию атомной энергии, известный советский физик, сказал: «Жаль, что Ферми уже нет, рано или поздно он бы присутствовал на одном из наших собраний и, без сомнения, мы, советские физики, не упустили бы возможности покатать его».

Эти слова хорошо выражают чувство восхищения советских учёных великим физиком, чьё славное имя навсегда останется в памяти физиков всего мира.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Zeits. f. Physik **26**, 902 (1926).
 2. Zeits. f. Physik **48**, 73 (1928).
 3. Zeits. f. Physik **82**, 729 (1933).
 4. Rev. Mod. Phys. **4**, 87 (1932).
 5. Nuovo Cimento **11**, 1 (1934).
 6. Proc. Roy. Soc. **146A**, 483 (1934).
 7. Proc. Roy. Soc. **149A**, 522 (1935).
 8. Ricerca Scientifica **7**, 13 (1936).
 9. Phys. Rev. **50**, 899 (1936).
 10. Phys. Rev. **56**, 1242 (1939).
 11. Phys. Rev. **56**, 284 (1939).
 12. См. Успехи физических наук **32**, 54 (1947).
 13. Phys. Rev. **72**, 1139 (1947).
 14. Phys. Rev. **91**, 155 (1953).
 15. Phys. Rev. **75**, 1169 (1949).
 16. Progr. Theoret. Physics **5**, 570 (1950)
 17. С. З. Беленький и Л. Д. Ландау, Успехи физических наук **LVI**, в. 3, стр. 309 (1955).
-