



ВОЛЬФАНГ ПАУЛИ
(1900—1958)

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКPERSONALIA**ВОЛЬФГАНГ ПАУЛИ**

В декабре 1958 г. мировая наука понесла тяжёлую утрату — в Цюрихе умер Вольфганг Паули, один из наиболее выдающихся физиков-теоретиков нашего времени.

Научная деятельность Паули, как и большинства других крупных теоретиков, началась очень рано. Первая его работа, посвященная вопросам общей теории относительности, относится к 1918 г. В это время восемнадцатилетний физик был студентом Мюнхенского университета. Как и почти все выдающиеся теоретики его поколения, Паули был учеником А. Зоммерфельда.

Большинство работ Паули, однако, тесно связано с квантовой теорией, вопросами которой он начал заниматься с 1923 г., также будучи в Мюнхене. Первой проблемой, к которой он приложил свои силы, был вопрос об аномальном Зееман-эффекте. Степень своего увлечения этой трудной проблемой весьма красочно описывает сам Паули: «Когда в Мюнхене друзья спрашивали меня: „Почему Вы так несчастливо выглядите?“, я всегда отвечал: „Разве может выглядеть счастливым тот, кто размышляет об аномальном Зееман-эффекте?“».

Проблема аномального Зееман-эффекта в целом не была решена Паули — она и не могла быть решена в то время, до создания волновой механики. Занятия Зееман-эффектом, однако, привели Паули к правильному объяснению явления тонкой структуры спектральных линий. Паули впервые понял, что тонкая структура есть проявление совершенно нового физического явления, нового свойства электрона, не имеющего аналогии в классической механике. Для объяснения тонкой структуры Паули приписал электрону новое квантовое число, принимающее два значения. Это число было им названо «двузначность, не описываемая классически». Существование этого квантового числа и правильность данного Паули объяснения были блестяще подтверждены впоследствии, когда был открыт спин электрона, и введенное Паули новое квантовое число оказалось проекцией электронного спина, принимающей, согласно квантовой механике, два значения.

Интересно, что Паули не сразу принял истолкование спина как механического момента количества движения электрона. Ему, прекрасно понимавшему чисто квантовый характер «двузначности» электрона, такое истолкование казалось слишком классическим. Оно сделалось для него полностью приемлемым только тогда, когда Бор показал невозможность классического измерения спина свободного электрона, а следовательно, и его чисто классического истолкования.

Открытие нового квантового числа явилось важным шагом, подготовившим появление самой важной и известной работы Паули — работы, в которой был сформулирован принцип, носящий его имя. Этот принцип, состоящий в том, что если добавить к величинам, определяющим состояние электрона, новое квантовое число, то в каждом состоянии будет находиться не более одного электрона, был сформулирован Паули в 1925 г., после тщательного изучения им работ Бора (с которым он около года работал в Копенгагене) по квантовомеханическому истолкованию периодической системы элементов Менделеева. Сейчас, много лет спустя, когда принцип Паули является общеизвестной истиной, уже трудно себе представить, сколь смелой была для своего времени гипотеза о том, что даже частицы, между которыми не действуют никакие силы, настолько сильно влияют друг на друга, что не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии.

Значение принципа Паули, являющегося одним из основных законов природы, едва ли нуждается в какой-либо подробной характеристике. Первоначально принцип Паули был высказан автором в терминах старой теории квантов Бора. После создания квантовой механики принцип Паули вошел в нее в качестве одной из важнейших составных частей.

После 1925 г. Паули принял активное участие в развитии создававшейся в это время квантовой механики. В частности, важную роль сыграла в свое время работа Паули, в которой он еще до создания волновой механики, пользуясь аппаратом квантовой механики в матричной форме, определил энергетические уровни атома водорода. Решение этой задачи в матричной форме очень сложно и потребовало от автора большого остроумия.

В 1927 г., после того как был открыт спин электрона, Паули показал, каким образом спин должен быть введен в математический аппарат квантовой механики. Показательно, что посвященная этому вопросу работа Паули написана столь ясно и просто, что и сейчас едва ли можно изменить хоть слово в изложении автора.

К этому же времени относится и одна из немногих работ Паули, посвященных макроскопической физике, в которой была вычислена та часть магнитной восприимчивости электронного газа, которая связана с магнитными моментами электронов (парамагнетизм Паули).

Очень ярко смелость научной мысли Паули вновь проявилась в 1931 г., когда им было предсказано существование нейтрино. Как известно, до появления гипотезы Паули казалось, что для объяснения явления β -распада потребуется коренная ломка существовавших физических представлений, поскольку непрерывный спектр β -электронов представлялся прямым доказательством нарушения закона сохранения энергии при распаде. Гипотеза Паули о том, что часть энергии распада уносится чрезвычайно слабо взаимодействующей с веществом частицей—нейтрино, казалась в то время очень искусственной и неправдоподобной. Чтобы оценить всю смелость этой гипотезы, достаточно вспомнить, что к 1931 г. были известны всего две элементарные частицы, электрон и протон, и сама возможность существования новой элементарной частицы, да еще со столь странными свойствами, казалась совершенно невероятной. Неудивительно, что гипотеза Паули была встречена с большим недоверием, которое рассеялось только после того, как было открыто существование верхней границы энергии β -распадных электронов.

Значительное число работ Паули посвящено различным вопросам релятивистской квантовой механики. Уже в 1927 г. он совместно с Гейзенбергом привел в систему формальный аппарат квантовой электродинамики, которым в дальнейшем теоретики пользовались около двадцати лет, вплоть до создания новой инвариантной теории возмущений.

Одним из наиболее интересовавших Паули вопросов из этой области был вопрос о связи спина и статистики. С 1936 по 1940 г. им было опубликовано несколько работ на эту тему. В этих работах было показано, что частицы с целым спином подчиняются статистике Бозе—Эйнштейна, а с полуцелым спином—статистике Ферми—Дирака, т. е. удовлетворяют принципу Паули.

Несколько особняком от остальных работ Паули стоит его работа 1938 г., посвященная точной теории дифракции электромагнитных волн на проводящем клине.

Впоследствии, в 40-х годах, Паули принимал активное участие в развитии новой квантовой теории поля, основанной на так называемой теории перенормировок. Им совместно с Вилларсом был развит метод, сыгравший важную роль на начальном этапе развития теории.

В дальнейшем, когда начали выясняться серьезные трудности квантовой теории поля в ее нынешней форме, Паули оказался одним из немногих, кто понял, что аппарат современной теории приводит при сильных взаимодействиях к уничтожению всякого взаимодействия. В этом смысле показательна его работа с Челлейном, в которой это положение было доказано для случая одной специальной модели взаимодействующих полей—так называемой модели Ли.

Последним достижением Паули является весьма любопытная теорема Людерса—Паули, сущность которой состоит в том, что в силу некоторых чисто формальных свойств преобразования полей все уравнения должны оставаться инвариантными при одновременном изменении знака всех пространственных координат, изменении знака времени и замене всех частиц на античастицы. Эта теорема приобрела особое значение совсем недавно, когда после открытия несохранения четности в слабых взаимодействиях выяснилось, что в природе не имеет места инвариантность по отношению к каждому из этих преобразований в отдельности.

Кроме большого числа оригинальных научных работ, из которых мы, разумеется, упомянули далеко не все, Паули были написаны несколько работ обзорного характера. Из них хорошо известны советским читателям: «Теория относительности», «Общие принципы волновой механики», «Релятивистская теория элементарных частиц» и «Мезонная теория ядерных сил». Все эти книги, из которых первая была написана автором еще в его студенческие годы, отличаются совершенно исключительной ясностью, краткостью и глубиной изложения. Большинство из них написано уже очень давно, тем не менее старшей в них является лишь самая незначительная часть материала, что, несомненно, связано с необычайной интуицией их автора.

Интересно отметить, что в очень небольшой по объему второй части «Общих принципов волновой механики» все же нашлось место для изложения свойств двухкомпо-

нентного уравнения для частиц с массой нуль и спином $1/2$. Ранее это уравнение отбрасывалось, так как оно не удовлетворяет закону сохранения четности. После открытия несохранения четности, однако, выяснилось, что нейтрино описывается как раз этим уравнением.

В нашей статье мы кратко охарактеризовали основные научные работы Паули. Но роль Паули в науке не ограничивается теми работами, которые он выполнил лично. Огромное влияние на теоретическую физику всегда оказывала сама личность Паули, необычайная ясность его мысли, его стиль исследования и изложения научных проблем, заключающийся в стремлении наиболее четко выделить все самое общее и существенное и выразить это далее без лишних слов и длинных рассуждений.

Автору этих строк приходилось неоднократно встречаться с Паули и ощущать на себе обаяние и силу, исходившие от этого замечательного человека.

Паули всегда очень интересовался основными проблемами физики и ясно понимал их. Вместе с тем он всей душой ненавидел всяческое наукообразие, глубоко презирал те работы, где за учеными определениями и «строгими» рассуждениями скрывается отсутствие реального содержания, и необычайно ядовито высмеивал их авторов, которых он именвал «основополагаателями» и «новообоснователями».

Глубокое понимание стоящих перед теоретической физикой проблем и работоспособность сохранились у Паули до последнего дня его жизни. Можно не сомневаться, что если бы не его преждевременная смерть, то развитие теоретической физики еще не раз оказалось бы связанным с именем Паули.

Л. Ландау

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ В. ПАУЛИ

1. Закономерности аномального зееман-эффекта. *Z. Phys.* **16**, 155 (1923); О влиянии зависимости массы электрона от скорости на аномальный зееман-эффект. *Z. Phys.* **31**, 373 (1925).
2. Связь заполнения электронных оболочек в атоме со структурой спектров. *Z. Phys.* **31**, 765 (1925).
3. Вырождение электронного газа и парамагнетизм. *Z. Phys.* **41**, 89 (1927).
4. Квантовая механика магнитного электрона. *Z. Phys.* **47**, 151 (1928).
5. К квантовой электродинамике волновых полей (совместно с В. Гайзенбергом). *Z. Phys.* **56**, 1 (1929); **59**, 168 (1929).
6. Нейтринная гипотеза. *Rapport du Congrès Solvay*, 1933.
7. Связь спина со статистикой. *Phys. Rev.* **58**, 716 (1940).
8. Релятивистская теории элементарных частиц. *Rev. Mod. Phys.* **15**, 175 (1943). (Русский перевод: Релятивистская теория элементарных частиц, ИЛ, Москва, 1947.)
9. Инвариантная регуляризация в релятивистской квантовой теории (совместно с Вилларсом). *Rev. Mod. Phys.* **21**, 434 (1949). (Русский перевод в сборнике «Сдвиг уровней атомных электронов», ИЛ, Москва, 1950.)
10. О математической структуре модели Ли (совместно с Челленом). *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* **30**, 23 (1955). (Русский перевод; УФН **60**, 425 (1956).)

Книги:

1. *Relativitätstheorie*, Teubner, Leipzig, 1921. (Русский перевод: Теория относительности, Гостехиздат, М.—Л., 1947).
2. *Handbuch der Physik* **24/1, 2**, Auflage, Berlin, 1933. (Русский перевод: Общие принципы волновой механики, Гостехиздат, М.—Л., 1947.)
3. *Meson Theory of Nuclear Forces*, New York, 1946. (Русский перевод: Мезонная теория ядерных сил, ИЛ, Москва, 1947.)