

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

PERSONALIA

53(092)

ЛЕОНИД ВЕНИАМИНОВИЧ КЕЛДЫШ

(К шестидесятилетию со дня рождения)

7 апреля 1991 г. Леониду Вениаминовичу Келдышу исполняется 60 лет.

Физике твердого тела, особенно физике полупроводников, повезло в том, что основные достижения Леонида Вениаминовича и его планы на будущее находятся в этой области,

Б 1954 г. Л.В. Келдыш окончил физический факультет МГУ и поступил в аспирантуру ФИАН к В.Л. Гинзбургу. Уже первые его работы, посвященные поведению электронов полупроводника в сильном электрическом поле, стали классическими. В медленно меняющемся в пространстве электрическом поле (по сравнению с кристаллическим) энергии блоховских электронов из различных зон могут совпадать в пространственно разнесенных точках. В некоторой области пространства при заданной энергии электрон должен обладать мнимым квазиимпульсом, т.е. с классической точки зрения это состояние запрещено. Л.В. Келдышем было показано, что в такой ситуации возможно туннельное прохождение. Роль высоты барьера играет ширина запрещенной зоны, а туннельному прохождению барьера соответствует переход электрона из заполненной валентной зоны в пустую зону проводимости (1957 г.).

Через несколько лет это предсказание при детальном количественном совпадении было экспериментально подтверждено. Широкое практическое применение этот эффект нашел в туннельных диодах. В этой же работе было показано, что если экстремумы зон, между которыми происходит туннелирование, не совпадают в пространстве квазиимпульсов, то туннелирование сопровождается поглощением или испусканием фононов. Таким образом, эта работа явилась первой по микроскопическому обоснованию широко исследуемого сейчас макроскопического туннелирования с диссипацией.

В следующей работе (1958 г.) было показано, что этот же эффект туннелирования приводит к тому, что порог межзонного поглощения электромагнитного поля сдвигается в область меньших частот (эффект Франца—Келдыша). Этот эффект нашел широчайшее применение в модуляционной спектроскопии полупроводников (электромодуляция), он используется для перестройки частоты генерации полупроводниковых лазеров. За этот цикл работ Л.В. Келдыш был удостоен премии им. М.В. Ломоносова.

Впоследствии (1964 г.) Л.В. Келдыш показал, что многоквантовый фотоэффект и высокочастотный туннельный эффект — различные предельные



Леонид Вениаминович Келдыш

случаи одного и того же процесса, и построил общую теорию, объяснившую многие особенности поведения атомов и твердых тел в сильных электромагнитных полях.

Работа Л.В. Келдыша по глубоким примесным состояниям в полупроводниках (1963 г.) позволила ответить на два фундаментальных вопроса: 1) почему возникает, например, связанное состояние электрона на отрицательно заряженном примесном центре (многозарядные примеси), 2) почему некоторые примеси являются очень активными центрами рекомбинации? В этой работе корректно учтено влияние обеих зон (валентной и зоны проводимости) на формирование примесного состояния.

Ответ на первый вопрос состоял в том, что из-за вклада состояний валентной зоны с отрицательной эффективной массой изменяется знак кинетической энергии.

Ответ на второй вопрос состоял в том, что такие центры рекомбинации соответствуют ситуации падения частицы на центр.

Следующая серия работ посвящена исследованию функции распределения зонных электронов в сильном электрическом поле. Была получена общая формула, которая в различных предельных случаях объясняет различные виды наблюдавшейся полевой зависимости коэффициента ударной ионизации. Для описания ситуаций, когда в сильном внешнем поле необходимо учитывать самосогласованное изменение состояний и функции распределения по ним

(по аналогии с равновесной теорией ферми-жидкости), Л.В. Келдышем разработана (1964 г.) фундаментальная диаграммная техника для сильно неравновесных процессов.

В 1962 г. Л.В. Келдышем было предложено использовать пространственно-периодические поля для управления электронным спектром и электронными свойствами кристаллов. Эта работа положила начало интенсивно развивающемуся сейчас направлению в физике твердого тела, связанному с созданием искусственным образом сверхрешеток, находящихся все более широкое практическое применение (инженерия зонной структуры). В 1974 г. Л.В. Келдышу была присуждена Ленинская премия.

Следующий этап в научной деятельности Л.В. Келдыша связан с исследованием коллективных явлений в твердых телах. В это же время начал формироваться и его научный коллектив. С 1969 г. Л.В. Келдыш профессор, а с 1978 г. — заведующий кафедрой МГУ.

В связи с активными экспериментальными исследованиями фазовых переходов металл—диэлектрик (полупроводник) была предложена (им и Ю.В. Копяевым, 1964 г.) модель так называемого экситонного диэлектрика, в которой электронно-дырочные пары, обуславливающие фазовый переход в диэлектрик, возникают даже при сколь угодно слабом кулоновском взаимодействии. Члены взаимодействия, отвечающие межзонному превращению электронов, фиксируют фазу соответствующего параметра порядка (делая фазовый переход переходом первого рода), а спектр коллективных возбуждений — щелевым (вместо акустического голдстоуновского) (работа 1972 г. с Р.Р. Гусейновым). На основе этой модели описаны различные упорядоченные состояния (сегнетоэлектрическое, антиферромагнитное, ферромагнитное, токовое). Поскольку аналогичные состояния описываются в другом предельном случае сильного взаимодействия (модель Хаббарда), то качественно описывается и промежуточный по взаимодействию случай.

Следующая серия работ посвящена исследованию коллективных свойств неравновесных электронов и дырок.

В работе 1968 г. (с А.Н. Козловым) было исследовано условие бозе-конденсации, показана существенная роль небозевости экситонов при их конечной концентрации.

В работе 1971 г. Л.В. Келдышем дан последовательный микроскопический вывод уравнений типа Гинзбурга—Ландау, описывающих бозе-конденсат неравновесных экситонов. Несмотря на конечное время жизни электронов и дырок, возможен бездиссипативный перенос энергии возбуждения.

В 1968 г. Л.В. Келдыш показал, что при большом количестве долин для электронов и дырок (числе экстремумов в зоне проводимости и в валентной зоне соответственно) имеется тенденция расслоения — образование в газе экситонов капель электронно-дырочной жидкости. В пределе бесконечного числа долин простейшее описание в приближении хаотических фаз состояния электрон-дырочной капли является строгим (работа 1976 г., с Е.А. Андрушиным, В.С. Бабиченко, Т.А. Онищенко и А.П. Силиным).

Теоретическое предсказание образования капель электронно-дырочной жидкости и их свойств было подробно подтверждено многочисленными экспериментами. В 1974 г. Л.В. Келдышу и М. Воосу, В.С. Багаеву, Я.Е. По-

кровскому за этот цикл работ присуждена премия Европейского Физического общества.

Фундаментальный вклад был внесен Л.В. Келдышем в области нелинейной когерентной оптики. При комбинационном (рамановском) или мандельштам-бриллюэновском стоксовом рассеянии предсказан новый тип коллективных возбуждений — связанное состояние поляритона и фонона — фоноритон (работа 1983 г., с А.Л. Ивановым). В условиях антистоксова рассеяния был предсказан фазовый переход в когерентное фоноритонное состояние и исследованы свойства этого состояния (работа 1986 г., с С.Г. Тиходеевым).

В громадном количестве работ, опубликованных учениками Л.В. Келдыша, его вклад как на этапе постановки задачи, так и часто при нахождении решения стал определяющим.

Следует отметить удивительную для нашего времени черту Леонида Вениаминовича, которая присуща ему с самого начала его научной деятельности. Каждая опубликованная им работа еще долгое время после ее завершения до посылки в печать придирчиво анализируется им.

Вся предшествующая юбилею научная жизнь Леонида Вениаминовича вселяет уверенность, что ФИАН под его руководством еще больше преисполнится духом беззаветного поиска истины. Уверены, что Л.В. Келдыш еще не раз удивит нас яркими идеями.

*А.Ф. Андреев, Н.Г. Басов, В.Л. Гинзбург, А.В. Гуревич,
Б.Б. Кадомцев, Д.А. Киржниц, Ю.В. Копаев, Ю.А. Осипьян,
А.М. Прохоров, Е.Л. Фейнберг, В.С. Фрадкин.*