

## PERSONALIA

## Юрий Васильевич Копаев

(к 70-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60.+q

DOI: 10.3367/UFNr.0177.200711g.1251

21 октября 2007 г. исполнилось 70 лет члену-корреспонденту РАН, директору Отделения физики твердого тела Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, профессору Юрию Васильевичу Копаеву.

Серьезный интерес Юрия Васильевича к физике проявился еще на студенческой скамье. Посланная в печать студентом Ю.В. Копаевым статья попадает на рецензию к молодому научному сотруднику ФИАНа Л.В. Келдышу, который захотел познакомиться с юным автором. Эта встреча и последовавшее за ней научное сотрудничество сыграли определяющую роль в научной судьбе Ю.В. Копаева.

В 1964 г. выходит знаменитая работа по теории диэлектрических фазовых переходов (модель Келдыша–Копаева), в которой было показано, что модифицированный формализм БКШ теории сверхпроводимости может быть эффективно использован для описания фазовых переходов металл–диэлектрик в твердых телах. Фазовый переход в модели возникает при сколь угодно слабом межэлектронном взаимодействии и, по аналогии со сверхпроводящим переходом, может быть интерпретирован как бозе-конденсация электрон-дырочных пар (экситонов). Впоследствии диэлектрическая фаза в модели Келдыша–Копаева получила название "экситонного диэлектрика", ставшее общепотребительным. Модель экситонного диэлектрика Келдыша–Копаева стала, по сути, стандартной схемой описания межэлектронных корреляций в пределе слабого взаимодействия. Ценность модели экситонного диэлектрика во многом определяется тем, что она с единых позиций описывает целую совокупность фазовых переходов с различным типом симметрии упорядоченной фазы. Параметр порядка в модели характеризует вклад межэлектронных корреляций в самосогласованный потенциал кристалла. Этот потенциал имеет сложную спиновую и фазовую структуру, определяющую тип упорядочения. В работах Ю.В. Копаева с соавторами показано, что модель экситонного диэлектрика описывает большое многообразие экспериментально наблюдаемых состояний: волны зарядовой и спиновой (зонный антиферромагнетизм) плотности, слабый ферромагнетизм коллективизированных электронов, сегнетоэлектрическое состояние в неионных кристаллах. Ю.В. Копаевым с соавторами исследованы и различные экзотические состояния, возникающие в модели: состояния с волной спинового и зарядового тока (орбитальный антиферромагнетизм). Последнее состояние интересно тем, что при определенных условиях представляет собой качественно новый тип упорядоченного состояния, параметром порядка в котором служит плотность тороидного дипольного момента (тороидные моменты — третье независимое, наряду с электрическими и магнитными моментами, семейство электромагнитных мультиполей). Как было показано, микронеоднородные тороидные орбиталь-



Юрий Васильевич Копаев

ные антиферромагнетики могут обладать аномально большим диамагнетизмом. Впоследствии идеи Ю.В. Копаева и соавторов об упорядоченных состояниях со спонтанными токами получили развитие в работах по сильнокоррелированным состояниям в связи с проблемой высокотемпературной сверхпроводимости, где они известны как "фазы с потоком" ("flux phases").

В составе коллектива, представившего работу "Предсказание, обнаружение и исследование бесщелевых полупроводников и экситонных фаз", Ю.В. Копаеву в 1982 г. была присуждена Государственная премия СССР.

Значительный цикл работ Ю.В. Копаева с соавторами посвящен исследованию неравновесных фазовых переходов в полупроводниках. В этих работах популярные идеи об аналогии явлений лазерной генерации и фазовых переходов получили надежный теоретический фундамент и впервые

были исследованы математически строго. В частности, Ю.В. Копаевым с соавторами был предложен и подробно исследован электронный механизм лазерного отжига. Разрушение кристаллической структуры связано с возникновением структурной неустойчивости при возбуждении неравновесных носителей заряда (неравновесный фазовый переход) и наблюдается в ряде полупроводников. Эти работы в цикле "Открытие явления импульсной ориентированной кристаллизации твердых тел (лазерный отжиг)" отмечены Государственной премией СССР 1988 г. (в коллективе). В настоящее время основные теоретические результаты в этой области оказались широко востребованы в связи с активным исследованием нелинейных неравновесных эффектов в микрорезонаторах, создание которых стало возможным благодаря развитию методов нанотехнологии.

В области развития физических основ нанoeлектроники Ю.В. Копаевым с соавторами разработаны новые принципы обработки и преобразования информации, основанные на управляемой перестройке когерентных состояний квантовых гетероструктур, содержащих туннельно-связанные квантовые ямы, и предложены новые типы функционально-интегрированных логических квантовых элементов. Им в соавторстве с В.Ф. Елесиним разработана микроскопическая кинетическая теория квантового каскадного лазера и предложены варианты конструкции, обеспечивающие снижение критических токов и повышение рабочей температуры.

Значительная часть научной деятельности Ю.В. Копаева связана с изучением физики сверхпроводящего состояния. Многие из этих исследований были выполнены во время его работы в Отделе теоретической физики ФИАНа, куда он был приглашен В.Л. Гинзбургом в группу высокотемпературной сверхпроводимости. Задолго до обнаружения высокотемпературной сверхпроводимости купратов, являющихся легированными диэлектриками, Ю.В. Копаевым исследована возможность конструктивной интерференции диэлектрических и сверхпроводящих корреляций. Впервые было показано, что частичная диэлектризация электронного спектра может приводить к значительному увеличению температуры сверхпроводящего перехода. Кроме того, изменяется структура факторов когерентности, а кинетические характеристики в такой системе могут существенно отличаться от модели БКШ. Изотопический эффект в сверхпроводнике с диэлектрическими корреляциями может быть в значительной степени подавлен. Характерной особенностью таких систем служит фазовое расслоение, которое должно наблюдаться в широком диапазоне параметров системы. Большая часть этих исследований была опубликована в коллективной монографии *Проблема высокотемпературной сверхпроводимости*, изданной в 1977 г. под редакцией В.Л. Гинзбурга и Д.А. Киржница.

Впоследствии с помощью диаграммной техники для неравновесных процессов Ю.В. Копаевым с соавторами были детально исследованы неравновесные состояния, возникающие в сверхпроводниках с избыточными (по сравнению с тепловыми) квазичастицами. В результате был обнаружен целый круг новых явлений, возникновение которых обусловлено конкретными особенностями неравновесной функции распределения квазичастиц. В частности, было показано, что в зависимости от знака межэлектронного взаимодействия и характера спаривания в неравновесных условиях возможно возникновение в сверхпроводнике пространственно-неоднородных состояний различных типов.

В последние годы Ю.В. Копаевым с соавторами предложен и разработан новый механизм сверхпроводимости,

который учитывает особенности электронной структуры ВТСП купратов, допускающие сверхпроводящее спаривание с большим суммарным импульсом пары при экранированном кулоновском отталкивании. Этот механизм естественно приводит к возможности существования некогерентных сверхпроводящих пар в весьма широком температурном диапазоне псевдощелевого состояния непосредственно выше температуры сверхпроводящего перехода. Исследование конкуренции и сосуществования сверхпроводящего и диэлектрических состояний в ВТСП купратах привели к выяснению нетривиальной импульсной зависимости сверхпроводящего параметра порядка, а также к качественному объяснению фазовой диаграммы и ключевых физических свойств купратов.

Много времени профессор Ю.В. Копаев уделяет научной подготовке молодых специалистов. Вот уже 33 года он преподает в Московском государственном институте электронной техники. Им прочитаны курсы "Физики твердого тела", "Физики полупроводников", "Физическая природа биологических полей", "Неупорядоченные полупроводники", "Кинетические процессы в полупроводниках", "Физические основы нанoeлектроники". Живые, всегда содержательные и нетривиальные лекции Ю.В. Копаева стали событием для многих студентов, которым они открыли дверь в науку. Под его руководством защитились 14 кандидатов наук, 8 из которых впоследствии стали докторами наук. По инициативе Ю.В. Копаева, предвосхищая многие идеи Федеральной программы "Интеграция", в 1994 г. был организован Научно-образовательный центр ФИАН и МИЭТ "Квантовые приборы и нанотехнологии", в котором он является председателем совета директоров. НОЦ "Квантовые приборы и нанотехнологии" объединил научный потенциал Отделения физики твердого тела ФИАНа в области физики твердого тела и полупроводников и опыт ученых МИЭТ в области разработки и проектирования полупроводниковых приборов и интегральных схем на их основе для разработки и создания квантовых приборов, работающих на новых физических принципах, и совместной подготовки специалистов по этим направлениям. В НОЦ выполнен ряд важных научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в области нанoeлектроники. Разработаны и созданы первые в России квантово-классические интегральные микросхемы. В 2003 г. Ю.В. Копаеву присуждена Премия Президента Российской Федерации в области образования.

Ю.В. Копаев — заместитель главного редактора журнала *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, член редколлегии журнала *Известия Высших учебных заведений "Электроника"*, член Ученого совета Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, член Специализированных Ученых советов ФИАНа, ИОФАНа и МИЭТа, председатель секции "Теория конденсированного состояния" Научного совета РАН по "Физике конденсированных сред". В течение многих лет Ю.В. Копаев организует и проводит ежемесячные заседания научных сессий Отделения физических наук РАН по фундаментальным проблемам физики.

За многолетний труд и научные заслуги Ю.В. Копаев награжден орденом "Знак почета".

Мы от всей души поздравляем Юрия Васильевича с Юбилеем и желаем ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

*Ж.И. Алферов, А.Ф. Андреев, А.Л. Асеев,  
С.Н. Багаев, В.Л. Гинзбург, А.А. Горбачев,  
В.Ф. Елесин, Л.В. Келдыш, О.Н. Крохин,  
Е.Г. Максимов, Г.А. Месяц, Ю.А. Чаплыгин*