



ЛЕВ ДАВИДОВИЧ
ЛАНДАУ.

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКPERSONALIA

ЛЕВ ДАВИДОВИЧ ЛАНДАУ

(К пятидесятилетию со дня рождения)

Л. Д. Ландау занимает в современной теоретической физике одно из наиболее выдающихся мест. Его работы, охватывающие все области теоретической физики от гидродинамики до теории элементарных частиц и от астрофизики до физики низких температур, дали начало ряду направлений и вызвали сотни теоретических и экспериментальных исследований. Необыкновенная широта научных интересов и научного творчества является одним из характернейших свойств Ландау. В наше время специализация стала обычной и внутри теоретической физики. Можно назвать много крупных ученых, внесших существенный вклад в развитие одной из областей теоретической физики и совершенно чуждых другим областям. Ландау является одной из немногих фигур в мировой науке, олицетворяющих собой теоретическую физику в целом, ее методы и ее единство. Широта Ландау не сводится к широте фронта его работ. И не к его удивительной способности проявлять равную заинтересованность и равную компетентность в разнообразнейших вопросах как великих, так малых, вызывая порой недоумение и недовольство среди участников руководимого им семинара, когда обсуждение проблем распадов элементарных частиц внезапно сменяется не менее подробным обсуждением свойств квасцов. Широта Ландау проявляется и в его подходе к каждой задаче, в непредубежденности мысли, позволяющей ему рассматривать каждый вопрос только по существу, только «методом теорфизики», игнорируя давление сложившихся мнений и способов подхода, максимально упростить, «тривиализовать» его. И с поразительной безинерционностью оставить свою точку зрения, если она оказалась неверной или устарела в свете новых фактов.

Нигде, пожалуй, широта Ландау и его чувство единства теоретической физики не выявилось с такой полнотой, как в созданной им совместно с его ближайшим учеником Е. М. Лифшицем многотомной «Теоретической физике». Вышедшие до настоящего времени шесть томов (Механика, Теория поля, Квантовая механика, Статистическая физика, Механика сплошных сред, Электродинамика сплошных сред) представляют собой одновременно энциклопедию современной теоретической физики, систематическое руководство для молодежи, специализирующейся в области теоретической физики, и методическое пособие для теоретиков. Эта оригинальная по структуре и блестящая по выполнению серия явилась, можно сказать без преувеличения, крупнейшим событием в мировой литературе по теоретической физике. В ней содержится много оригинальных результатов и методических идей, и ссылки на книги Ландау и Лифшица часто можно встретить в работах по теоретической физике, публикуемых в мировой периодической литературе. «Теоретическая физика» Ландау и Лифшица органически связана с идеями и систематической работой Ландау по воспитанию молодых физиков-теоретиков. Тома

«Теоретической физики» явились методическим осуществлением программой сформулированного Ландау почти двадцать пять лет назад «Теоретического минимума». Овладение этим «теоретическим минимумом» является с тех пор одним из наиболее прямых способов, при помощи которых начинающий теоретик может вступить в постоянный научный контакт с Ландау, стать его учеником.

Ландау создал большую научную школу, представители которой успешно работают в различных областях теоретической физики. Естественно, далеко не все из них унаследовали широту научного фронта Ландау. Некоторые из его учеников, находясь на крайних флангах теоретической физики, занимаясь термодинамикой или теорией поля, уже мало понимают друг друга. Но Ландау хорошо понимает всех. Руководящая роль Ландау не ограничивается сферой его непосредственных учеников. Его советы и критика играют существенную роль для значительно более широкого круга советских теоретиков. И высокий уровень советской теоретической физики в целом в значительной степени является заслугой Ландау.

Научные достижения Ландау получили всеобщее признание и высокую оценку. Трижды ему присуждалась Сталинская премия. В 1946 г. он избран действительным членом Академии Наук СССР. Он избран также членом датской и нидерландской академии наук.

Лев Давидович Ландау родился 22 января 1908 года в Баку. Его отец был инженером, а мать врачом. Его физико-математические способности проявились очень рано. В возрасте 14 лет Ландау поступает в Бакинский университет, в 1924 г. переводится в Ленинградский университет, который оканчивает в 1927 г. в 19-летнем возрасте. После окончания университета он работает в Ленинградском физико-техническом институте, возглавлявшемся А. Ф. Иоффе.

Первая научная работа Ландау была опубликована в 1926 г. Это был период рождения новой квантовой механики. Несмотря на свою молодость, Ландау был к этому времени уже достаточно зрелым физиком, чтобы заметить, изучить и оценить появившуюся в 1926 г. первую статью Шредингера и принять участие в разработке квантовой механики. В 1927 г. в работе, посвященной торможению излучением, Ландау впервые рассматривает неполное квантово-механическое описание и вводит величину, которая в дальнейшем получила название матрицы плотности. Матрица плотности нашла широкое применение как в общих вопросах квантовой механики, так и в приложениях. (Часто введение матрицы плотности приписывают Нейману, однако сам Нейман в своей книге «Математические основы квантовой механики» ссылается на работу Ландау.)

В 1929 г. Ландау был командирован за границу, где провел полтора года, посетив Данию, Германию, Швейцарию, Голландию и Англию. Особенное значение имело для развития Ландау его работа в Копенгагене у Н. Бора, учеником которого он себя считает. По приглашению Н. Бора Ландау еще дважды, в 1933 и 1934 гг., был в Копенгагене, участвуя в теоретических конференциях.

В этот период Ландау занимается квантово-механическими проблемами. В 1930 г. в совместных с Р. Пайерлсом работах им были рассмотрены весьма тонкие вопросы, связанные с соотношениями неопределенности и нелокализуемостью фотона.

В том же 1930 г. Ландау сделал работу, являющуюся одной из фундаментальных работ по теории металлов. Ландау показал, что вырожденный идеальный электронный газ обладает диамагнитной восприимчивостью, равной одной трети парамагнитной восприимчивости, обусловленной спи-

ном электрона. Этот эффект («диамагнетизм Ландау») является чисто квантовым явлением, он связан с квантованием электронных орбит в магнитном поле. Развивая эту работу, Ландау в 1937—1938 гг. дает объяснение замечательной особенности в поведении магнитной восприимчивости металлов в сильных магнитных полях (эффект де Гааза—ван Альфвена). Развитием этого направления, начатого Ландау, занимались многие физики, в частности Р. Пайерлс. Изучение эффектов, связанных с квантованием электронных орбит в магнитном поле, позволяет изучить структуру поверхностей Ферми для электронов в металле, эффективные массы электронов и т. д. В последнее время ряд интересных работ в этой области выполнено группой И. М. Лифшица в Харькове.

Работа о диамагнетизме явилась для Ландау переходной, связавшей квантовую механику с физикой металлов. В последующий период наиболее значительные работы Ландау относятся к теории твердого тела и в частности магнитных свойств твердых тел. Этот период совпадает с переездом Ландау в Харьков, где с 1932 по 1937 г. он возглавляет теоретический отдел Физико-технического института.

В 1933 г. Ландау показал, что в отличие от парамагнитных тел, в которых магнитный момент каждого атома не имеет определенной ориентации и поэтому в среднем равен нулю, могут существовать кристаллические тела, в которых данный атом имеет определенным образом ориентированный средний момент, но суммарный макроскопический магнитный момент равен нулю. Понятие о намагниченных «подрешетках» было введено Неелем. В теории Ландау это состояние рассматривается как новая термодинамическая фаза, переходящая в определенных условиях в парамагнитную фазу. Фазовое состояние рассмотренного Ландау типа осуществляется в хорошо изученных в настоящее время антиферромагнитных телах.

В 1935 г. Ландау совместно с Лифшицем сделал работу, имеющую фундаментальное значение для теории ферромагнетизма. В ней впервые была дана строгая термодинамическая теория доменной структуры ферромагнитных тел. Качественное понятие об областях спонтанного намагничивания—доменах, было введено еще Вейссом. Термодинамическая теория Ландау и Лифшица позволила детально рассмотреть вопрос о форме доменов в различных условиях, об их границах и т. д. В работе даны также основы теории дисперсии магнитной проницаемости ферромагнетиков и явления ферромагнитного резонанса.

К этому же термодинамическому циклу работ, начатому в Харькове и продолженному в Москве, после перехода Ландау в 1937 г. в организованный П. Л. Капицей Институт физических проблем относятся еще две важнейшие работы: теория фазовых переходов и теория промежуточного состояния сверхпроводников.

До теории фазовых переходов Ландау существовало лишь формальное определение Эренфеста перехода n -го рода. Оно не давало ни какой-либо реальной классификации возможных фазовых переходов, ни понимания их физической природы. Ландау установил глубокую связь переходов второго рода с изменением симметрии тел и дал подробную термодинамическую теорию поведения тел вблизи точки перехода. На основе теории Ландау Е. М. Лифшицем были детально проанализированы структурные переходы кристаллов. В. Л. Гинзбург построил на основе теории Ландау термодинамическую теорию сегнетоэлектриков. Интересное применение теории Ландау к свойствам антиферромагнетиков было недавно сделано Дзялошинским.

Понятие о промежуточном состоянии сверхпроводников, связанном с зависимостью сверхпроводимости от магнитного поля, было качественно

введено Пайерлсом. Ландау детально проанализировал природу этого состояния, показав что в определенных условиях тело должно разделяться на сверхпроводящие и несверхпроводящие слои, и выяснил структуру этих слоев. Теория Ландау нашла блестящее подтверждение в остроумных опытах А. И. Шальникова.

Следует упомянуть еще о нескольких работах, не относящихся к теории твердых тел, выполненных в этот же период.

В работе, посвященной кинетическому уравнению в случае кулоновского взаимодействия, была рассмотрена система, для которой обычные методы составления кинетического уравнения неприменимы вследствие слишком медленного убывания сил с расстоянием. Эта работа, а также работа о колебаниях плазмы, выполненная в 1946 г, получила особенно большое значение в последнее время в связи с изучением свойств плазмы. В частности, большое количество работ в этой области было выполнено в последнее время группой А. И. Ахиезера в Харькове.

В совместной с Г. Плачем работе была дана теория структуры так называемой «несмещенной» линии Релея-Брэгга рассеяния света в жидкостях. Результаты этой работы нашли многочисленные применения в оптических исследованиях.

Ряд работ этого периода посвящен квантово-механическим и квантово-электродинамическим вопросам. К ним относятся: теория передачи энергии при столкновениях, работа о релятивистских поправках к уравнению системы двух частиц, содержащая уточнение формулы Брейта, работы об образовании пар при столкновениях частиц (совместно с Е. Лифшицем) и о рассеянии света светом (совместно с А. И. Ахиезером и И. Я. Померанчуком) и др.

Интересна также работа по электропроводности металлов при низких температурах, выполненная совместно с И. Я. Померанчуком.

В Харькове началась и педагогическая деятельность Ландау. Он преподает в Харьковском университете. Здесь появляются его первые ученики: Е. М. Лифшиц, А. С. Компанец, А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук, В. Г. Левич и др. Здесь же вырабатывается «теор.-минимум» — программа для молодых людей, желающих специализироваться в области теоретической физики и начинается работа над монографиями по теоретической физике. Свою научно-педагогическую деятельность Ландау систематически продолжает до сих пор. В настоящее время он читает курсы теоретической физики в Московском университете. Его научная школа охватывает уже несколько поколений учеников. К ней относятся А. Б. Мигдал, В. Б. Берестецкий, Я. А. Смородинский, Н. М. Шмушкевич, Н. М. Халатников, К. А. Тер-Мартirosян, А. А. Абрикосов и др.

Первые годы работы Ландау в Институте физических проблем были периодом интенсивного экспериментального исследования свойств гелия II. И. Л. Капицей было открыто важнейшее парадоксальное свойство этой жидкости — сверхтекучесть. Теория сверхтекучести и связанных с ней явлений стала одним из главных направлений работы Ландау. Это направление создало целую область, которой посвящено несколько сот теоретических и экспериментальных работ, выполненных в Советском Союзе и за границей.

Ландау выяснил вопрос о том, каким должен быть спектр элементарных возбуждений квантовой жидкости для того, чтобы она обладала свойством сверхтекучести. Соображения Ландау и экспериментальные данные позволили установить реальный вид спектра возбуждений гелия. Исходя из представлений о характере спектра, который можно рассматривать как некий газ возбуждений, так называемых фононов и ротонов, Ландау при-

шел к выводу о том, что каждой точке гелия II следует приписать две скорости: скорость сверхтекучей части жидкости и скорость нормальной части жидкости, связанной с возбуждениями. Им была сформулирована полная система гидродинамических уравнений такой двухскоростной жидкости. Исследуя эти уравнения, Ландау предсказал новое явление, так называемый второй звук, представляющий собой как бы колебания в газе фононов и ротонов. Экспериментально второй звук был обнаружен В. П. Пешковым с помощью метода «теплового излучения», указанного Е. М. Лифшицем. Идея о двух скоростях и втором звуке была также независимо (еще до работы Ландау) высказана Тисса. Однако у Тисса не было правильного представления о физической природе явления. Поэтому Тисса не мог получить правильной количественной теории сверхтекучести. В частности, оказалась неправильной полученная им температурная зависимость скорости второго звука, в то время как предсказанная Ландау кривая блестяще подтвердилась на опыте. Данные о спектре возбуждений позволили найти все термодинамические функции гелия II, а также рассмотреть различные кинетические процессы в гелии II (вязкость, теплопроводность и др.; эти вопросы были рассмотрены Ландау совместно с Халатниквым), движение посторонних частиц в гелии II (совместно с Померанчуком), свойства растворов He^4 — He^3 и другие вопросы.

Интерес Ландау к теории квантовой жидкости не ослабевает и до настоящего времени. Последние его работы посвящены теории жидкости, состоящей из частиц, подчиняющихся статистике Ферми.

К периоду 1936—1938 гг. относятся два интересных события в теоретической физике: создание ливневой теории дивней и статистической модели ядра. В развитии этих теорий Ландау внес существенный вклад. В совместной с Ю. Б. Румером работе Ландау создал математический аппарат теории ливней, который затем стал основным в многочисленных последующих работах, в частности в интересных работах С. З. Беленького. В статистической модели ядер Ландау впервые получил термодинамическое соотношение между плотностью уровней и энергией возбуждения. В этой работе проявилось умение Ландау смело переносить методы, характерные для одной области теоретической физики в совершенно другую область.

Наиболее ярким примером этой черты творчества Ландау является его относящаяся к 1954 г. работа, посвященная развитию идеи Ферми о статистическом характере множественного рождения частиц при столкновениях. Ландау показал, что в таком процессе существенно гидродинамическая стадия и развил в применении к ней релятивистскую гидродинамику. Это направление было продолжено исследованиями Беленького и др.

Ландау интересовали не только задачи релятивистской гидродинамики или гидродинамики двухскоростной жидкости. У него есть ряд работ и по «обыкновенной» гидродинамике. Особенное значение среди них имеет работа 1944 г. об ударных волнах на больших расстояниях от источника.

Среди других разнообразных работ Ландау следует упомянуть высказанную им в 1933 г. идею об «автолокализации» электрона в кристаллах. Эта идея была в дальнейшем широко развита С. И. Пекаром в «поляронной» теории, создавшей целое направление в физике полярных кристаллов.

Перейдем к краткому обзору работ Ландау по квантовой электродинамике и теории элементарных частиц.

Мы причислим к этой серии очень важную практически для экспериментаторов, изучающих элементарные частицы, работу 1944 г. об ионизационных потерях быстрых частиц. В ней учтены флуктуации и дана

кривая распределения потерь. До этой работы существовала только теория средних потерь энергии.

В 1948 г. Ландау дал классификацию состояний системы двух фотонов по моменту и четности и показал, что такая система не может иметь момент, равный единице. Этот результат имеет существенное значение для аннигиляции позитрония и распада нейтрального π -мезона.

В 1949 г. Ландау совместно с Берестецким нашел величину специфического взаимодействия электрона с позитроном, связанного с их виртуальной аннигиляцией. Это взаимодействие существенно определяет разность низших уровней энергии орто-парапозитрония.

В 1953 г. Ландау и Померанчук указали на неприменимость в области больших энергий обычной теории тормозного излучения и образования пар. Этот эффект связан с тем, что при больших энергиях существенны интерференционные явления на больших расстояниях вдоль движения частиц, а рассеяние частиц нарушает необходимую когерентность. Теория Ландау и Померанчука была развита количественно Мигдалом.

В совместной с Померанчуком работе, опубликованной в 1954 г., было рассмотрено излучение фотонов быстрыми π -мезонами при столкновении их с ядрами. В этой работе используются лишь некоторые общие свойства взаимодействия мезонов с ядрами. Результат не зависит от деталей такого взаимодействия.

Значительный интерес представляют работы Ландау, выполненные совместно с Абрикосовым и Халатниковым в 1954 г.; посвященные основам квантовой электродинамики. Квантовая электродинамика, развитие которой в предшествующие годы привело к значительным успехам, пользуется исключительно методом возмущений. Применимость этого метода ограничена областью расстояний, превышающих некоторое минимальное. Хотя практически условие применимости теории возмущений выполняется, большой принципиальный интерес, особенно для теории других полей, представляет вопрос о существовании решений вне области применимости теории возмущений. Ландау нашел новый метод, позволивший выйти за рамки обычной теории возмущений. Таким образом, было показано существование решений в области значительно меньших расстояний. Однако в области еще меньших расстояний взаимодействие становится сильным и метод Ландау непосредственно неприменим. Однако Ландау с Померанчуком были высказаны соображения, показывающие, что область сильных взаимодействий приводит к полному экранированию заряда электрона, т. е. к отсутствию всякого взаимодействия. Померанчуку удалось путем обобщения метода Ландау доказать это положение как для электродинамических, так и для других точечных взаимодействий. Таким образом, возникает представление о том, что на малых расстояниях свойства взаимодействий или свойства пространства—времени существенно отличаются от тех, которые описываются известными нам теориями.

Одна из последних работ Ландау посвящена проблеме несохранения четности в слабых взаимодействиях. Он обратил внимание на то, что несохранение четности не обязательно требует нарушения свойств симметрии пространства, если предположить, что не сохраняется одновременно и зарядовая четность, но сохраняется произведение этих величин, названное им комбинированной четностью. Сохранение комбинированной четности накладывает определенные ограничения на общую гипотезу несохранения четности, выдвинутую Ли и Янгом. Исходя из таких соображений, Ландау построил теорию нейтрино, в которой эти частицы должны быть поляризованными. При этом β -частицы также должны быть определенным образом поляризованными. Теория поляризованных нейтрино была также независимо предложена Саламом и Ли и Янгом, но они не связывали ее

с принципом сохранения комбинированной четности. В настоящее время процессы, связанные с несохранением четности, очень интенсивно исследуются экспериментально. Следует ожидать, что в самом ближайшем будущем вопрос о сохранении комбинированной четности и о поляризованных свойствах нейтрино будет решен на опыте.

Теоретическая физика занимает в ряду наук положение, которое можно, в определенном смысле, сравнить с положением балета в искусстве или футбола в спорте. Здесь таланты обычно рано расцветают, но и рано увядают. Ландау является счастливым исключением из этого правила. Наш краткий обзор его научной деятельности мы закончим стандартной фразой, которую здесь можно сказать с абсолютно чистой совестью: свое пятидесятилетие Ландау встречает в расцвете творческих сил.

В. Б. Берестецкий

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ Л. Д. ЛАНДАУ

1. К теории спектров двухатомных молекул, *Zs. f. Phys.* **40**, 621 (1926).
2. Проблема торможения в волновой механике, *Zs. f. Phys.* **45**, 430 (1927).
3. Квантовая электродинамика в конфигурационном пространстве, *Zs. f. Phys.* **62**, 188 (1930). (Совместно с Р. Е. Пайерлсом.)
4. Диамагнетизм металлов, *Zs. f. Phys.* **64**, 629 (1930).
5. Расширение принципа неопределенности для релятивистской квантовой теории, *Zs. f. Phys.* **69**, 56 (1931). (Совместно с Р. Е. Пайерлсом.)
6. К теории передачи энергии при столкновениях, *Phys. Zs. Sowjet.* **2**, 200 (1932).
7. О движении электронов в кристаллической решетке, *Phys. Zs. Sowjet.* **3**, 664 (1933).
8. Структура несмещенной линии рассеяния, *Phys. Zs. Sowjet.* **5**, 172 (1934). (Совместно с Г. Плачеком.)
9. Об отклонениях полупроводников от закона Ома в сильных электрических полях, *Phys. Zs. Sowjet.* **6**, 163 (1934). (Совместно с Компанейцем.)
10. Об образовании электронов и позитронов при столкновении двух частиц, *Phys. Zs. Sowjet.* **6**, 244 (1934). (Совместно с Е. М. Лифшицем.)
11. К теории дисперсии магнитной проницаемости в ферромагнитных телах, *Phys. Zs. Sowjet.* **8**, 153 (1935). (Совместно с Е. Лифшицем.)
12. О релятивистской поправке к уравнению Шредингера для задачи многих тел, *Phys. Zs. Sowjet.* **8**, 487 (1935).
13. К теории коэффициента аккомодации, *Phys. Zs. Sowjet.* **8**, 498 (1935).
14. К теории фотоэлектродвижущей силы в полупроводниках, *Phys. Zs. Sowjet.* **9**, 477 (1936). (Совместно с Е. Лифшицем.)
15. К теории мономолекулярных реакций, *Phys. Zs. Sowjet.* **10**, 67 (1936).
16. Кинетическое уравнение для случая кулоновского взаимодействия, *Phys. Zs. Sowjet.* **10**, 154 (1936).
17. О свойствах металлов при очень низких температурах, *Phys. Zs. Sowjet.* **10**, 649 (1936). (Совместно с И. Я. Померанчуком.)
18. Рассеяние света светом, *Nature* **138**, 206 (1936). (Совместно с А. Ахвезером и И. Померанчуком.)
19. Теория фазовых переходов, *Nature* **138**, 840 (1936).
20. К теории фазовых переходов 1, *ЖЭТФ* **7**, 19, 627 (1937).
21. К теории сверхпроводимости, *ЖЭТФ* **7**, 371 (1937).
22. К статистической теории ядер, *ЖЭТФ* **7**, 819 (1937).
23. Рассеяние рентгеновых лучей кристаллами с переменной структурой, *ЖЭТФ* **7**, 1227 (1937).
24. Рассеяние рентгеновых лучей кристаллами вблизи точки Кюри *ЖЭТФ* **7**, 1232 (1937).
25. Об источниках звездной энергии, *ДАН СССР* **17**, 301 (1937).
26. О поглощении звука в твердых телах, *Phys. Zs. Sowjet.* **11**, 18 (1937). (Совместно с Ю. Б. Румером.)
27. Лавинная теория электронных ливней, *Pros. R. Soc.* **166**, 213 (1938). (Совместно с Ю. Б. Румером.)
28. Промежуточное состояние сверхпроводников, *Nature* **141**, 688 (1938).
29. О поляризации электронов при рассеянии, *ДАН* **26**, 436 (1940).
30. О происхождении ядерных сил, *ДАН* **29**, 555 (1940). (Совместно с И. Е. Таммом.)

31. О «радиусе» элементарных частиц, ЖЭТФ 10, 718 (1940).
32. Угловое распределение частиц в ливнях, ЖЭТФ 10, 1007 (1940).
33. К теории вторичных ливней, ЖЭТФ 11, 32 (1941).
34. Теория сверхтекучести гелия II, ЖЭТФ 11, 592 (1941).
35. К теории промежуточного состояния сверхпроводников, ЖЭТФ 13, 377 (1943).
36. Об одном новом точном решении уравнений Навье—Стокса, ДАН 43, 299 (1944).
37. К проблеме турбулентности, ДАН 44, 339 (1944).
38. К гидродинамике гелия, ЖЭТФ 14, 112 (1944).
39. К теории медленного горения, ЖЭТФ 14, 240 (1944).
40. Рассеяние протонов протонами, ЖЭТФ 14, 269 (1944). (Совместно с Я. Смородиным.)
41. О потере энергии быстрыми частицами путем ионизации, J. of Phys. 8, 201 (1944).
42. Об ударных волнах на далеких расстояниях от места их возникновения, Прикл. мат. и мех. 9, 286 (1945).
43. О колебании электронной плазмы, ЖЭТФ 16, 574 (1946).
44. К теории сверхтекучести гелия, J. of Phys. 11, 91 (1947).
45. О движении посторонних частиц в гелии, ДАН 59, 669 (1948). (Совместно с П. Померанчуком.)
46. О моменте системы из двух фотонов, ДАН 60, 207 (1948).
47. К теории сверхтекучести, ДАН 61, 253 (1948).
48. Эффективная масса полярона, ЖЭТФ 18, 419 (1948). (Совместно с С. И. Пекаром.)
49. К теории передачи энергии при столкновениях, ЖЭТФ 18, 750 (1948). (Совместно с Е. Лифшицем.)
50. Теория вязкости гелия II, 1. Столкновение элементарных возбуждений в гелии II, ЖЭТФ 19, 637 (1949). (Совместно с П. М. Халатниковым.)
51. О взаимодействии между электроном и позитроном, ЖЭТФ 19, 673 (1949). (Совместно с В. Б. Берестецким.)
52. О равновесной форме кристаллов, Сборник, посвященный семидесятилетию А. Ф. Иоффе, М., АН СССР, стр. 44, 1950.
53. К теории сверхпроводимости ЖЭТФ 20, 1064 (1950). (Совместно с В. Л. Гинзбургом.)
54. Пределы применимости теории тормозного излучения электронов и образования пар при больших энергиях, ДАН 92, 535 (1953). (Совместно с П. Померанчуком.)
55. Электронно-лавиновые процессы при сверхвысоких энергиях, ДАН 92, 735 (1953). (Совместно с П. Я. Померанчуком.)
56. О множественном образовании частиц при столкновениях быстрых частиц, Изв. АН СССР 92, 735 (1953).
57. Излучение γ -квантов при столкновении быстрых π -мезонов с нуклонами, ЖЭТФ 24, 505 (1953). (Совместно с П. Я. Померанчуком.)
58. Об устранении бесконечностей в квантовой электродинамике, ДАН 95, 497 (1954). (Совместно с А. А. Абрикосовым и П. М. Халатниковым.)
59. Асимптотическое выражение для гриновской функции электрона в квантовой электродинамике, ДАН 95, 773 (1954). (Совместно с А. А. Абрикосовым и П. М. Халатниковым.)
60. Асимптотическое выражение для гриновской функции фотона в квантовой электродинамике, ДАН 95, 1177 (1954). (Совместно с А. А. Абрикосовым и П. М. Халатниковым.)
61. Масса электрона в квантовой электродинамике, ДАН 96, 261 (1954). (Совместно с А. А. Абрикосовым и П. М. Халатниковым.)
62. Исследование особенностей течения при помощи уравнения Эйлера—Трикоми, ДАН 96, 725 (1954). (Совместно с Е. М. Лифшицем.)
63. О точечном взаимодействии в квантовой электродинамике, ДАН 102, 489 (1955). (Совместно с П. Померанчуком.)
64. О квантовой теории полей, «Niels Bohr and the Development of Physics», London, 1955, стр. 52.
65. Гидродинамическая теория множественного образования частиц, УФН 56, 309 (1955). (Совместно с С. З. Беленьким.)
66. Численные методы интегрирования уравнений в частных производных методом сеток, Труды 3-го Всесоюз. матем. съезда, 1956, М., АН СССР. (Совместно с Н. Н. Мейманом и П. М. Халатниковым.)
67. Теория ферми-жидкости, ЖЭТФ 30, 1058 (1956).
68. Колебания ферми-жидкости, ЖЭТФ 32, 59 (1957).
69. О законах сохранения при слабых взаимодействиях, ЖЭТФ 32, 405 (1957).
70. Об одной возможности для поляризационных свойств нейтрино, ЖЭТФ 32, 407 (1957).
71. Свойства гриновской функции частиц в статистике, ЖЭТФ 34, № 1 (1958).

КНИГИ

1. Задачи по теоретической физике, ч. 1. Механика, Харьков, ГИТН Укр., 1935, 116 стр. (Совместно с Е. Лифшицем и Л. Розенкевичем.)
2. Электропроводность металлов, Харьков, ГИТН Укр., 1935, 59 стр. (Совместно с А. Компанейцем.)
3. Статистическая физика, М.—Л., Гостехиздат, 1951, 480 стр. (Совместно с Е. Лифшицем.)
4. Механика, М.—Л., Гостехиздат, 1940, 200 стр. (Совместно с Л. Пятигорским.)
5. Теория поля, II изд., Гостехиздат, 1948, 364 стр. (Совместно с Е. М. Лифшицем.)
6. Механика сплошных сред, Гидродинамика и теория упругости, Гостехиздат, 2 изд., 1954, 795 стр. (Совместно с Е. М. Лифшицем.)
7. Квантовая механика, I. Нерелятивистская теория, Гостехиздат, 1948. (Совместно с Е. М. Лифшицем.)
8. Курс лекций по общей физике, ч. 1, Механика, молекулярная физика и электричество, М., МГУ, 1949, 276 стр.
9. Лекции по теории атомного ядра, Гостехиздат, 1955, 140 стр. (Совместно с Я. Смолодинским.)
10. Электродинамика сплошных сред, Гостехиздат, 1957, 632 стр. (Совместно с Е. М. Лифшицем.)