



ИСААК ЯКОВЛЕВИЧ
ПОМЕРАНЧУК

PERSONALIA

58

ИСААК ЯКОВЛЕВИЧ ПОМЕРАНЧУК

Советская и мировая наука понесли тяжелую потерю. 14 декабря 1966 г. на 54 году жизни после тяжелой болезни скончался крупнейший советский физик-теоретик академик Исаак Яковлевич Померанчук.

Вклад Померанчука в развитие физики очень велик. Он открыл, т. е. теоретически предсказал, много интересных явлений, которые, одни сразу, другие через ряд лет, в зависимости от степени подготовленности экспериментаторов и их приборов, обнаруживались на опыте и создавали основу для дальнейших исследований. Такие «эффекты Померанчука» есть в физике твердого тела, физике низких температур, электродинамике электронов, позитронов и мезонов и в других областях физики.

Когда ядерная физика выделила направление, получившее огромное прикладное значение, работы Померанчука были основополагающими для развития теории нейтронных реакторов в нашей стране. Когда зародилась и стала быстро развиваться физика элементарных частиц, Померанчук целиком посвятил себя ее трудным проблемам. Здесь им было положено начало созданию нового направления науки — физики предельно высоких энергий.

Работы Померанчука, и недавние и давние, его проблемы, его эффекты, его знаменитая «теорема» живы сейчас и долго будут жить не только в истории науки, но и в повседневной работе физиков, теоретиков и экспериментаторов.

Значение Исаака Яковлевича Померанчука в науке далеко не исчерпывается этими результатами. Померанчук принадлежал к той редкой и драгоценной группе ученых, без существования которых наука вообще бы, по выражению Эйнштейна, не поднялась, как не мог бы вырасти лес из одних вьющихся деревьев. Для людей типа Померанчука наука — органическая непосредственная всепоглощающая потребность. Значение таких людей было огромным во все времена и стало еще более значительным в наше время, когда в науку привлечено большое число людей, когда наука так разрослась вширь. Померанчук был тем чистым тоном, который одним своим звучанием приносил неоценимую пользу всем физикам, и молодым, и зрелым. Чистый тон не создается импульсами. Его создала вся жизнь Исаака Яковлевича.

Исаак Яковлевич Померанчук родился 20 мая 1913 г. в Варшаве. Его отец, Яков Исаакович, был инженером-химиком, мать — Амалия Давыдовна — врачом. Во время первой мировой войны семья переехала в Ростов, а затем в Рубежный в Донбасс, где Исаак Яковлевич окончил в 1927 г. семилетнюю школу и в 1929 г. двухлетнюю школу ФЗУ при Рубежанском химическом заводе. Проработав на этом заводе два года рабочим, Исаак Яковлевич поступил в 1931 г. на первый курс Ивановского химико-технологического института. Со второго курса он перевелся на физико-механический факультет Ленинградского политехнического института, который и окончил в 1936 г.

Свою научную деятельность Исаак Яковлевич начал в 1935 г. в Физико-техническом институте в Харькове под руководством Л. Д. Ландау. Он появился у Ландау в Харькове студентом, в котором окончательно созрело решение заниматься теоретической физикой. Такой отдельной специальности в Ленинградском политехническом институте не было. Для молодых людей, желающих специализироваться по теории, у декана был стандартный ответ: «Эйнштейн работал в бюро патентов, Дирак окончил техническое учебное заведение», после чего следовал отказ. Померанчук реагировал просто — он уехал в Харьков без разрешения. В два месяца он сдал теорминимум, только что введенный Ландау. Ландау оказал глубокое влияние на формирование Померанчука как ученого и дружба с Ландау продолжалась всю жизнь. Будучи уже зрелым теоретиком, всегда богатым новыми замыслами, Померанчук любил прежде всего «пропускать их через учителя».

Первая работа И. Я. Померанчука, выполненная им совместно с А. И. Ахиезером и Л. Д. Ландау и опубликованная в августе 1936 г. в журнале «Nature», была посвящена вопросу о рассеянии света светом в случае, когда энергия сталкивающихся фотонов много больше массы электрона. В том же 1936 г. появляется работа Л. Д. Ландау и И. Я. Померанчука, в которой впервые были рассмотрены эффекты, связанные со взаимодействием электронов проводимости в металлах друг с другом; до этой работы в электронной теории металлов совокупность электронов проводимости рассматривалась всегда как газ, частицы которого взаимодействуют лишь с колебаниями решетки. Основным результатом этой работы заключался в том, что влияние взаимодействия электронов на электросопротивление приводит к зависимости T^2 сопротивления чистого металла при низких температурах.

Из всего многообразия исследований Исаака Яковлевича по твердому телу необходимо выделить два цикла работ, принесших ему мировую известность и признание. Речь идет о работах, связанных с рассеянием нейтронов в кристаллах и с теорией теплопроводности диэлектриков.

В работе по теории рассеяния медленных нейтронов в кристалле (1938) и более поздней работе, выполненной совместно с А. И. Ахиезером (1947), была дана общая теория неупругого рассеяния нейтронов, сопровождающегося однофононными и многофононными возбуждениями в кристалле. Фактически эти работы послужили отправной точкой для целого ряда более поздних исследований, приведших, в частности, к созданию метода восстановления фононного спектра кристаллов на основе измерения дважды дифференциального сечения рассеяния медленных нейтронов. К этому же циклу принадлежит работа по рефракции нейтронов (1948), где для медленных частиц получен целый ряд соотношений, очень близких к оптическим.

Следует специально отметить, что глава книги «Некоторые вопросы теории ядра» (написанной Исааком Яковлевичем с А. И. Ахиезером более 15 лет назад), посвященная взаимодействию медленных нейтронов с веществом, до сих пор является лучшим введением в рассматриваемую проблему.

Ангармоническое взаимодействие фононов в кристаллах и общая задача решточной теплопроводности всегда были и остались до сих пор одной из наиболее интересных проблем физики твердого тела. Исаак Яковлевич сделал первый крупный шаг в развитии этого направления. В своей докторской диссертации, защищенной в 1940 г., он дал подробный анализ трехфононных и четырехфононных взаимодействий в кристалле; им построена теория теплопроводности диэлектриков как при низких, так и при высоких температурах.

Померанчук обратил внимание на принципиальные дефекты прежних теорий теплопроводности диэлектриков. Он показал, что кубическая анггармоничность колебаний атомов в решетке кристалла, вопреки существовавшему мнению, в действительности, как правило, недостаточна для установления конечной теплопроводности; для получения конечного результата необходимо учитывать анггармоничность более высоких порядков. Совместное действие этих анггармоничностей и других источников рассеяния фононов (примеси, отражение от стенок кристаллитов, рассеяние на упругих деформациях) приводит к сложной картине, которая была исследована Померанчуком с исчерпывающей детальностью. Были определены законы, по которым должна меняться теплопроводность диэлектриков в зависимости от температуры, концентрации примесей и от размеров кристаллитов в различных областях значений этих параметров и для различных типов кристаллической структуры. Этот цикл работ очень характерен для всего творчества Исаака Яковлевича, ибо здесь физическая интуиция играла не менее важную роль, чем формальный аппарат. В этой связи показательно, что хотя вся задача в целом в дальнейшем получила широкое развитие, поставленная им проблема особой роли длинноволновых фононов в теплопроводности кристаллов, которую часто называют «проблемой Померанчука», по сей день является весьма актуальной.

Из других работ Исаака Яковлевича по физике твердого тела следует особо отметить работу, посвященную изотопическому эффекту в остаточном сопротивлении металлов (1958). В этой работе Исаак Яковлевич впервые обратил внимание на то, что хотя амплитуды рассеяния электронов на ионах различных изотопов в металле имеют одно и то же значение, нарушение строгой периодичности в динамической картине колебаний (за счет разных масс изотопов) приводит к конечному сопротивлению в металлах даже при $T = 0$. Это весьма нетривиальный эффект, и нет сомнений, что в ближайшем будущем он будет обнаружен экспериментально.

К исследованиям Исаака Яковлевича по твердому телу примыкают его работы по теории квантовой жидкости HeII и He^3 . В работе о движении посторонних частиц в HeII , опубликованной совместно с Л. Д. Ландау в 1948 г., на основе простых качественных соображений показано, что всякая частица, растворенная в сверхтекучем гелии, должна принимать участие в нормальном (а не сверхтекучем) движении, т. е. должна входить в нормальную компоненту жидкости вне зависимости от того, какой статистике эти частицы подчиняются сами по себе. Эта работа имела принципиальное значение; она положила конец существовавшим до нее неправильным представле-

ниями о том, что участие примесей в сверхтекучем движении зависит от статистики. В частности, из этой работы следовало, что в нормальную часть должны входить малые примеси как изотопа He^3 (подчиняющегося статистике Ферми), так и изотопа He^4 (подчиняющегося статистике Бозе), что и было подтверждено дальнейшими экспериментами.

Вопрос о влиянии примесей на термодинамические и гидродинамические свойства жидкого гелия был затем подробно исследован И. Я. Померанчуком в работе 1949 г.

В работе, посвященной теории жидкого He^3 (1950), впервые было дано качественное рассмотрение квантовых жидкостей с фермиевским энергетическим спектром. Было показано, что вязкость такой жидкости должна возрастать с уменьшением температуры как $1/T^2$. Было показано также, что в жидком He^3 существенную роль играют обменные эффекты, которые приводят к своеобразным явлениям при превращении жидкого He^3 в твердый. Наличие магнитного-упорядочения ядерных спинов в жидкости при его отсутствии в твердом кристалле приводит к тому, что энтропия твердой фазы становится (при достаточно низких температурах) больше, чем у жидкой фазы — ситуация, обратная обычной. В результате было предсказано существование минимума на кривой фазового равновесия (на диаграмме pT) гелия — знаменитый эффект Померанчука, полностью подтвержденный дальнейшими экспериментами. В самое последнее время эта особенность жидкого He^3 успешно используется для получения сверхнизких температур.

Померанчук внес важнейший вклад в создание ядерных реакторов в Советском Союзе. Он начал заниматься этой проблемой в 1943 г. Этот год знаменует развертывание в нашей стране широкого фронта научных исследований, ставящих целью овладение атомной энергией. Как известно, эта задача была блестяще решена в рекордно короткие сроки.

И. Я. Померанчук сразу же становится одним из ближайших помощников научного руководителя всей проблемы И. В. Курчатова и возглавляет разработку теории атомных реакторов. За исключением работ Я. Б. Зольдовича и Ю. Б. Харитона, выполненных перед войной, теория реактора стала интенсивно развиваться именно с 1943 г. и в первую очередь благодаря работам И. Я. Померанчука.

При решении задачи осуществления незатухающей цепной ядерной реакции (создание первого советского физического реактора) фундаментальную роль сыграли так называемые экспоненциальные эксперименты, проводившиеся И. В. Курчатовым. В этих экспериментах оказалось возможным определять такие важнейшие величины, как поглощение тепловых нейтронов замедлителем, длины замедления нейтронов деления. Эти эксперименты были бы невозможны без теории экспоненциальных опытов, и эту теорию построил И. Я. Померанчук, обеспечив, таким образом, осуществление важнейшего этапа по овладению ядерной энергией в нашей стране.

Еще более фундаментальным вкладом Исаака Яковлевича в теорию реактора была созданная им теория резонансного поглощения нейтронов в гетерогенных системах. Как сейчас хорошо известно, только гетерогенное размещение блоков урана в замедлителе позволяет эффективно осуществить незатухающую цепную реакцию в системах из естественного урана и замедлителя. Теория резонансного поглощения в блочных системах И. Я. Померанчука, созданная совместно с И. И. Гуревичем, несмотря на внешнюю простоту, дает глубокую физическую картину явления. Модель Померанчука резонансного поглощения блоками, как показали экспериментальные исследования, выполненные много позже, оказалась более адекватной действительности, чем независимо созданная в США модель Вигнера.

Большое значение имеют работы Померанчука по теории критических размеров. Так, Померанчуку принадлежит формула для критического размера в возрастном приближении. Важны работы Померанчука по теории температурных эффектов в реакторе. Померанчук первым начал исследование процессов размножения нейтронов при замедлении.

Являясь одним из создателей диффузионной теории реактора, И. Я. Померанчук первый заложил основы более точной теории, начав систематически применять кинетические уравнения к процессам замедления и диффузии нейтронов в реакторе.

Вклад Померанчука в теорию ядерных реакторов не ограничен его непосредственным участием, его научными трудами. Яркая творческая манера Исаака Яковлевича, сочетающая ясное физическое мышление с преодолением любых математических трудностей, сказалась самым глубоким образом на работе его учеников и последователей. Можно без преувеличения сказать, что советская школа теории ядерных реакторов есть в значительной мере создание Померанчука.

Несколько работ Исаака Яковлевича посвящены теории магнитнотормозного (так называемого синхротронного) излучения, возникающего при движении релятивистской заряженной частицы в магнитном поле. Первая работа, принадлежащая к этому направлению, была опубликована в 1939 г. В ней было обращено внимание на характерную особенность излучения электронов при движении в магнитном поле: интенсивность его так растет с энергией, что после движения частицы в магнитном

поле в течение заданного промежутка времени энергия частицы, независимо от ее начального значения, стремится к некоторому пределу. По этой причине, например, приходящий из космоса электрон при движении в земном магнитном поле должен терять энергию таким образом, что на земной поверхности его энергия не может быть больше, чем $5 \cdot 10^{17}$ эв. В последующих работах (1944, 1946 гг.) было обращено внимание на важную роль магнитнотормозных потерь энергии при движении электронов в циклических ускорителях (бетатроне и синхротроне) и проведен более детальный анализ излучения. В последующие годы Исаак Яковлевич не возвращался к этой проблематике, но она продолжала жить независимой жизнью. Вскрытая Исааком Яковлевичем особенность поведения заряженных частиц в магнитном поле оказалась имеющей место и при движении в поле электромагнитной волны с достаточно низкой частотой. Этот эффект (существование предельной энергии) очень существен при анализе проблемы происхождения космических лучей.

На протяжении многих лет И. Я. Померанчук занимался исследованием процессов взаимодействия излучения с веществом. Им было проведено теоретическое рассмотрение вопроса о флуктуациях ионизационных пробегов заряженных частиц в веществе. Решение этой задачи оказалось весьма существенным для опытов с космическими лучами. Исследуя вопрос об излучении квантов тяжелыми частицами, Исаак Яковлевич (совместно с И. М. Шмушкевичем) показал, что наличие обменных сил между протоном и нейтроном должно приводить к значительному возрастанию интенсивности излучения фотонов при столкновениях между этими частицами или их столкновениях с ядрами.

Большое значение имели работы И. Я. Померанчука совместно с Л. Д. Ландау по электронно-лавинным процессам при высоких энергиях. В этих работах было показано, что благодаря тому, что рассеяния, на которых происходит тормозное излучение электрона, растут с ростом энергии электрона, при достаточно высоких энергиях в процессе тормозного излучения одновременно участвует целая совокупность атомов среды. Действие большого числа атомов вызывает многократное кулоновское рассеяние электрона во время акта тормозного излучения и приводит к тому, что формулы Бете — Гайтлера оказываются неприменимыми при высоких энергиях. В работах Л. Д. Ландау и И. Я. Померанчука были получены качественные оценки влияния многократного рассеяния на тормозное излучение и рождение пар. В дальнейшем эта задача переросла в целую область физики, которая получила широкое развитие.

В 1947 г. И. Я. Померанчук рассчитал сечения аннигиляции позитронов на электронах с учетом поляризации и обнаружил, что в 3S -состоянии с полным спином 1 двухквантовая аннигиляция запрещена. Эта работа легла в основу дальнейшего развития теории позитрония. В настоящее время физика позитрония и ее приложения составляют целую область. Обнаруженный Померанчуком эффект сделал позитроний тонким индикатором, используемым в разнообразных исследованиях.

В 1952 г. Исаак Яковлевич совместно с А. Д. Галаниным рассматривает влияние поляризации вакуума на расщепление уровней мю-мезоатомов. В отличие от обычных атомов, где вклад поляризации вакуума мал, в μ -атомах из-за их малого радиуса μ -мезон находится в области, где поляризация вакуума дает большой вклад. Обнаруженное в этой работе явление интересно как с теоретической точки зрения (возможность наблюдения поляризации вакуума), так и для физики мезоатомов. Опыты подтвердили эту идею.

Начало 50-х годов — время, когда в лабораториях начали искусственно получать мезоны, — стало временем зарождения физики элементарных частиц в современном смысле этого слова. С этого времени интересы Исаака Яковлевича все больше концентрируются на проблеме сильных взаимодействий элементарных частиц. На первом этапе он развивает феноменологический подход к теории сильного взаимодействия. В цикле работ Исаака Яковлевича с соавторами была разработана теория взаимодействия π -мезонов с дейтронами. Эта теория (так называемое импульсное приближение) связывает сечение процессов, происходящих при столкновениях мезонов с дейтронами, с сечениями процессов, происходящих при столкновениях мезонов со свободными нуклонами. Анализ дейтронных реакций, принадлежащий Исааку Яковлевичу, имеет большое значение. Ведь большинство сведений о взаимодействиях с нейтронами при высоких энергиях физики получают, делая опыты с дейтронами. Впоследствии (1958 г.) импульсное приближение получило иную формулировку на основе полюсных диаграмм.

В 1953 г., после того как окончательно выяснилось, что π -мезоны сильно взаимодействуют с нуклонами и теория возмущений совершенно не применима к процессам взаимодействия π -мезонов и нуклонов, Исаак Яковлевич обращается к фундаментальной проблеме: исследованию общих свойств уравнений квантовой теории поля в тех случаях, когда взаимодействие нельзя считать малым. В это время Л. Д. Ландау и его сотрудниками было получено решение уравнений квантовой электродинамики при высоких энергиях. Исаак Яковлевич анализирует это решение и совместно с Л. Д. Ландау показывает, что из его свойств вытекает возможность пренебречь в лагранжиане системы электронов и квантов при высоких энергиях действием сво-

бодного электромагнитного поля еще в той области, где эффективный заряд мал. Отсюда был получен весьма важный вывод о том, что в квантовой электродинамике любой сколь угодно большой затравочный заряд полностью экранируется зарядами, возникшими за счет поляризации вакуума, так что физический заряд электрона, наблюдаемый на больших расстояниях, должен быть равен нулю. Тем самым было указано на внутреннюю противоречивость квантовой электродинамики. Для электродинамики проблемы, связанные с нулем заряда, могут оказаться существенными только при энергиях $\sim m_e c^{137}$ и не затрагивают области, где обычная техника перенормировок, развитая Швингером и Дайсоном, достаточна для решения реальных задач. Для мезонных теорий с сильной связью это может быть не так. Развивая эти идеи, Исаак Яковлевич показал, что в мезонной теории может возникнуть аналогичная ситуация с обращением в нуль физического заряда, т. е. что есть серьезные основания считать мезонную теорию также внутренне противоречивой.

Вывод о внутренней противоречивости теорий, использующих лагранжев метод, привел Исаака Яковлевича к поискам других подходов к теории сильных взаимодействий, не использующих уравнений теории поля. Исаак Яковлевич возвращается к феноменологическому подходу. Основываясь на общих свойствах амплитуд квантовой теории поля, он показывает, что фазы рассеяния с большими орбитальными моментами определяются полными диаграммами, соответствующими обмену наипростейшей частицей. Теоретическое вычисление фаз, обусловленных обменом одним и двумя мезонами, которое было выполнено на основе этих соображений, позволило значительно упростить фазовый анализ нуклон-нуклонного рассеяния.

В течение длительного времени (начиная еще с 1946 г.) Исаак Яковлевич неоднократно возвращался к модели дифракционного сильного взаимодействия при высоких энергиях. Эта модель рассматривала частицы как черные шары и позволяла делать предсказания о некоторых свойствах процессов, не конкретизируя механизмов взаимодействия. По существу, именно дифракционные представления привели Исаака Яковлевича в 1956 г. к формулировке предсказаний о том, что при предельно высоких энергиях сечения процессов перезарядки должны стремиться к нулю, а сечения упругих процессов для частиц из данного изотопического мультиплета не должны зависеть от их зарядов. С другой стороны, он же впервые обратил внимание на неудовлетворительность дифракционной теории. Изучая реакции рождения нескольких частиц при малых импульсах отдачи мишени, И. Я. Померанчук в работе с В. Б. Берестецким пришел к заключению, что обычная теория дифракции приводит к трудностям и нуждается в существенном изменении.

Переход Исаака Яковлевича к области предельно высоких энергий не был случайным. Он искал в физике сильного взаимодействия такой объект, в котором сложнейшие закономерности сильного взаимодействия проявлялись бы наиболее простым образом. Известно, что при создании квантовой механики решающую роль сыграло знание свойств простейшей квантовомеханической системы — атома водорода. В создании теории сильного взаимодействия Исаак Яковлевич отводил роль «атома водорода» процессам взаимодействия при асимптотически высоких энергиях. В 1958 г. на основе анализа дисперсионных соотношений Исаак Яковлевич формулирует свою знаменитую теорему, согласно которой при предельно высоких энергиях сечения взаимодействия с нуклоном частицы и античастицы должны быть равны.

Теорема Померанчука знаменовала рождение новой области науки — физики предельно высоких энергий. В последующие годы наука эта претерпела быстрое и плодотворное развитие. Ее разрабатывали физики-теоретики в десятках научных центров во всем мире. Крупнейшие ускорители были использованы для экспериментальной проверки ее предсказаний. Исаак Яковлевич был признанным лидером этого направления. Совместно с В. Н. Грибовым, с начала 60-х годов Исаак Яковлевич разрабатывает подход к теории асимптотик, основанный на математическом аппарате комплексных угловых моментов, введенным несколько ранее Т. Редже.

Почти все существенные результаты, полученные в этой области, связаны с именем Померанчука. В течение 1962—1964 гг. он деятельно исследовал свойства дифракционного рассеяния, обусловленного одним полюсом Редже, получившим название полюса Померанчука. Результатом этих исследований явились важные теоремы о соотношениях между сечениями различных процессов, о свойствах траектории полюса Померанчука, о существовании максимума при рассеянии назад, поляризационных явлениях при высоких энергиях и другие. Одновременно он развивал и чисто теоретические аспекты метода комплексных моментов. Им было установлено сгущение полюсов Редже при пороговых энергиях. Было обнаружено замечательное свойство особенности парциальной волны при моменте равно -1 , послужившее началом нового этапа в развитии теории комплексных моментов — обнаружению точек ветвления в плоскости комплексных моментов. На этом этапе работы Исаака Яковлевича также сыграли большую роль. Им была исследована структура точек ветвления в комплексной плоскости и высказана идея об усилении ветвлений полюсом, совершенно по-новому поставившая вопрос о структуре дифракционного конуса.

Исаак Яковлевич придавал большое значение методу комплексных моментов. Для него он был не только средством для описания процессов при высоких энергиях, но и новым языком в теории сильных взаимодействий, в котором отсутствуют частицы как объект исследования и их место занимают траектории полюсов Редже.

Исаак Яковлевич Померанчук создал большую школу советских физиков-теоретиков. Он организовал теоретический отдел в Институте теоретической и экспериментальной физики и руководил им со дня основания Института до последних дней жизни. Он был основателем и в течение ряда лет руководителем теоретических групп в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова и Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований; его влияние плодотворно сказалось на выборе основных направлений их работ. В течение 20 лет он был профессором Московского инженерно-физического института.

Исаак Яковлевич Померанчук много работал со студентами, аспирантами и молодыми теоретиками. Многие из ныне активно работающих ученых обязаны своими успехами его направляющему вниманию.

За научные работы Исааку Яковлевичу дважды была присуждена Государственная премия первой степени. Он был награжден орденом Ленина, орденом Трудового Красного Знамени и орденом Знак почета.

В 1953 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 1964 г. — действительным членом Академии наук СССР.

Исаак Яковлевич был скромным и даже застенчивым, поскольку дело касалось его личных удобств; однако он совершенно преобразился, становился настойчивым и непреклонным, когда речь шла об интересах науки.

Исаак Яковлевич очень любил физику. Он бурно радовался каждому новому научному результату, вне зависимости от того, кому он принадлежал. Любовь к физике означала для Исаака Яковлевича неустанный работу, непрерывное интенсивное продумывание конкретных вопросов, сопровождающееся математическими выкладками. Работа была его высшим наслаждением. Он был неутомим. Он жил физикой. Он искренне не понимал, как можно тратить время на что-либо другое. Самым главным было для него установление научной истины. Именно этот критерий определял его отношение к физическим идеям и проектам, научным статьям и людям. Он всегда был устремлен вперед. Если ему рассказывали о том, как стал «работать» один из «эффектов Померанчука», он только устало и несколько виновато улыбался. Что с того, когда так много непонятного, когда так много проблем, к которым пока нет подступа. Он нес на себе бремя человеческого стремления к познанию.

Даже страшная болезнь, рак пищевода, не изменила его поведения, Исаак Яковлевич продолжал интенсивно работать буквально до самого последнего дня. Он работал, находясь в больнице, работал и дома. Его почти ежедневно посещали физики-теоретики и экспериментаторы. Он обсуждал научные проблемы; его волновало все, связанное с развитием физики в нашей стране. Последнюю свою научную работу — о поведении полного сечения аннигиляции электронно-позитронных пар в адроны при высоких энергиях — Исаак Яковлевич закончил за два дня до смерти — 12 декабря 1966 г.

Светлый образ Исаака Яковлевича Померанчука будет жить в сердцах тех, кто имел счастье быть его учеником, сотрудником, в сердцах всех, кому довелось общаться с ним.

Подражать такой жизни невозможно. Но сам факт существования такой жизни долго будет служить реальной силой развития науки.

В. Б. Берестецкий

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ АКАДЕМИКА И. Я. ПОМЕРАНЧУКА

Теория элементарных частиц

1. A. I. Akhiezer, L. Landau, I. Pomernanchuk, Scattering of Light by Light, *Nature* 138, 206 (1936).
2. I. Pomernanchuk, The scattering of mesotron pairs by positron annihilation, *J. Phys. USSR* 4, 277 (1941).
3. I. Pomernanchuk, The scattering of mesotrons by mesotrons, *J. Phys. USSR* 4, 277 (1941).
4. И. Померанчук, Кулоновские силы и строение нейтрона, *ДАН СССР* 41, 162 (1943).
5. И. Померанчук, Рассеяние мезонов, сильно взаимодействующих с нуклонами, *ДАН СССР* 44, 13 (1944).
6. И. Померанчук, Обобщение предельного λ -процесса и неоднозначность в устранении бесконечностей квантовой теории элементарных частиц, *ЖЭТФ* 17, 667 (1947); *Phys. Rev.* 76, 298 (1949).

7. И. Я. Померанчук, Правила отбора при аннигиляции электронов и позитронов, ДАН СССР 60, 213 (1948).
8. А. И. Ахнестер, И. Я. Померанчук, К определению неэлектромагнитного взаимодействия между электронами и нейтронами, ЖЭТФ 19, 558 (1949).
9. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, О β -распаде нейтрона, ЖЭТФ 19, 591 (1949).
10. И. Я. Померанчук, И. М. Шмушкевич, Излучение при столкновении быстрых нейтронов с протонами, ДАН СССР 64, 499 (1949).
11. И. Померанчук, И. Шмушкевич, Электромагнитное излучение под действием обменных сил, ДАН СССР 70, 33 (1950).
12. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, О превращении заряженного π -мезона в нейтральный мезон при столкновении с протоном и дейтроном, ДАН СССР 77, 803 (1951); ЖЭТФ 21, 1313 (1951).
13. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, О столкновении π -мезонов с дейтроном, ДАН СССР 81, 1019 (1951).
14. И. Я. Померанчук, К теории образования многих частиц в одном акте, ДАН СССР 78, 889 (1951).
15. И. Я. Померанчук, Обменные столкновения быстрых нуклонов с дейтронами, ДАН СССР 78, 249 (1951).
16. И. Я. Померанчук, Обменные столкновения быстрых нуклонов с дейтронами. I. ЖЭТФ 21, 1113 (1951).
17. И. Я. Померанчук, Захват π -частиц в дейтроне, ДАН СССР 80, 47 (1951).
18. И. Я. Померанчук, Обменные столкновения быстрых нуклонов с дейтронами. II. ЖЭТФ 22, 624 (1952).
19. И. Я. Померанчук, К теории захвата π -частиц в дейтроне, ЖЭТФ 22, 129 (1952).
20. А. Д. Галанин, И. Я. Померанчук, О спектре μ -мезоводорода, ДАН СССР 86, 251 (1952).
21. И. Я. Померанчук, И. М. Шмушкевич, Об испускании γ -квантов больших энергий при столкновении быстрых нейтронов с протонами, ДАН СССР 87, 385 (1952).
22. Л. Д. Ландау, И. Я. Померанчук, Излучение γ -квантов при столкновениях быстрых π -мезонов с нуклонами, ЖЭТФ 24, 505 (1953).
23. И. Я. Померанчук, Е. Л. Фейнберг, О внешней (дифракционной) генерации частиц при ядерных столкновениях, ДАН СССР 93, 439 (1953).
24. А. Д. Галанин, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, Перенормировка массы и заряда в ковариантных уравнениях квантовой теории поля, ДАН СССР 98, 361 (1954).
25. А. И. Ахнестер, И. Я. Померанчук, Излучение фотона, сопровождающееся захватом быстрого протона ядром, ДАН СССР 94, 821 (1954).
26. И. Я. Померанчук, Полуфеноменологическая теория образования π -мезонных пар γ -квантами больших энергий, ДАН СССР 96, 265 (1954).
27. И. Я. Померанчук, Образование π -мезонных пар γ -квантами в случае тяжелых ядер, ДАН СССР 96, 481 (1954).
28. И. Я. Померанчук, Равенство нулю перенормированного заряда в квантовой электродинамике, ДАН СССР 103, 1005 (1955).
29. И. Я. Померанчук, О перенормировке мезонного заряда в псевдоскалярной теории с псевдоскалярной связью, ДАН СССР 104, 51 (1955).
30. И. Я. Померанчук, Об обращении в нуль перенормированного мезонного заряда в псевдоскалярной теории с псевдоскалярной связью, ДАН 105, 461 (1955).
31. Л. Д. Ландау, И. Померанчук, О точечном взаимодействии в квантовой электродинамике, ДАН СССР 102, 489 (1955).
32. И. Я. Померанчук, Обобщение теоремы Уорда на случай конечных длин волн света у частиц со спином 0, ДАН СССР 100, 41 (1955).
33. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, Образование π -мезонной пары при аннигиляции позитрона, ЖЭТФ 29, 869 (1955).
34. А. Д. Галанин, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, Об асимптотике функций Грина нуклона π мезона в псевдоскалярной теории со слабым взаимодействием, ЖЭТФ 29, 51 (1955).
35. И. Я. Померанчук, Решение уравнений псевдоскалярной теории с псевдоскалярной связью, ЖЭТФ 29, 869 (1955).
36. И. Я. Померанчук, Изотопическая инвариантность и рассеяние антинуклонов нуклонами, ЖЭТФ 30, 423 (1956).
37. Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, А. П. Рудик, Дисперсионные соотношения для рассеяния π -мезонов на дейтронах, ЖЭТФ 31, 712 (1956).
38. I. Pomeranchuk, Note on the number of different types of K -mesons, Nucl. Phys. 2, 281 (1956—1957).

39. B. L. Ioffe, I. Okun, I. Pomeranchuk, Concerning the number of different types of K -mesons, *Nucl. Phys.* 2, 277 (1956—1957).
40. Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, Изотопическая инвариантность и сечения взаимодействия π -мезонов и нуклонов высокой энергии с нуклонами, *ЖЭТФ* 30, 424 (1956).
41. I. Pomeranchuk, Vanishing of the renormalized charge in electrodynamics and in meson theory, *Nuovo Cimento* 3, 1186 (1956).
42. I. Ya. Pomeranchuk, V. V. Sudakov, K. A. Ter-Martirosyan, Vanishing of renormalized charge in field theories with point interaction, *Phys. Rev.* 784 (1956).
43. А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук, Об излучении γ -квантов, сопровождающемся поглощением быстрых нейтронов ядрами, *ЖЭТФ* 30, 201 (1956).
44. E. L. Feinberg, I. Pomeranchuk, High energy inelastic diffraction phenomena, *Nuovo Cimento* 3, Suppl. N4, 652 (1956).
45. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, Корреляционные явления при захвате K -мезонов, *ЖЭТФ* 31, 350 (1956).
46. Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, О возможном дипольном моменте перехода у Δ -частиц, *ДАН СССР* 113, 1251 (1957).
47. И. Я. Померанчук, Равенство полных сечений взаимодействия нуклонов и антинуклонов при больших энергиях, *ЖЭТФ* 34, 725 (1958).
48. Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, Об определении четности K -мезона, *ЖЭТФ* 34, 997 (1958).
49. Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, И. М. Шмушкевич, О взаимодействии Λ -гиперонов с нуклонами и легкими ядрами, *ЖЭТФ* 34, 1246 (1958).
50. А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук, Дифракционные явления при столкновениях быстрых частиц с ядрами, *УФН* 55, 593 (1958); *Fortschr. Phys.* 7, 102 (1959).
51. A. A. Abrikosov, A. D. Galanin, B. L. Ioffe, I. Ya. Pomeranchuk and I. M. Halatnikov, Green's functions in meson theories, *Nuovo Cimento* 8, 782 (1958).
52. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, β -взаимодействие и форм-фактор нуклона, *ЖЭТФ* 36, 1321 (1959).
53. А. Д. Галанин, А. Ф. Грашин, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, О столкновениях нуклонов с большими орбитальными моментами, *ЖЭТФ* 37, 1663 (1959); *Nucl. Phys.* 17, 181 (1960).
54. Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, О периферийных взаимодействиях элементарных частиц, *ЖЭТФ* 36, 300 (1959); *Nucl. Phys.* 10, 492 (1959).
55. В. Б. Берестецкий, И. Я. Померанчук, Об асимптотической зависимости сечений при больших энергиях, *ЖЭТФ* 39, 1078 (1960).
56. А. Д. Галанин, А. Ф. Грашин, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, Рассеяние нуклона на нуклоне в двухмезонном приближении при больших орбитальных моментах, *ЖЭТФ* 38, 475 (1960).
57. В. А. Боровиков, И. М. Гельфанд, А. Ф. Грашин, И. Я. Померанчук, Фазовый анализ p - p -рассеяния при энергии 95 $M\text{эв}$, *ЖЭТФ* 40, 1106 (1961).
58. И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, Об электромагнитном взаимодействии нейтрального векторного мезона, *ЖЭТФ* 41, 495 (1961).
59. Ю. П. Никитин, И. Я. Померанчук, И. М. Шмушкевич, Об образовании пучков π -мезонов большой энергии, *ЖЭТФ* 41, 963 (1961).
60. V. B. Berestetsky, I. Ya. Pomeranchuk, On the asymptotic behaviour of cross sections at high energies, *Nucl. Phys.* 22, 629 (1961).
61. I. Ya. Pomeranchuk, I. M. Shmushkevich, On the process in the interaction of γ -quanta with unstable particles, *Nucl. Phys.* 23, 452 (1961).
62. A. A. Abrikosov, A. D. Galanin, L. P. Gorkov, L. D. Landau, I. Ya. Pomeranchuk, K. A. Ter-Martirosyan, Possibility of formulation of a theory of strongly interacting fermions, *Phys. Rev.* 111, 321 (1958).
63. В. Н. Грибов, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, А. П. Рудик, Некоторые следствия из гипотезы движущихся полюсов для процессов при больших энергиях, *ЖЭТФ* 42, 1419 (1962).
64. В. Н. Грибов, И. Я. Померанчук, Комплексные орбитальные моменты и соотношения между сечениями различных процессов при высоких энергиях, *ЖЭТФ* 42, 1141 (1962); *Phys. Rev. Letts* 8, 343 (1962).
65. В. Н. Грибов, И. Я. Померанчук, Спировая структура амплитуд мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния при высоких энергиях, *ЖЭТФ* 42, 1682 (1962); *Phys. Rev. Letts* 8, 412 (1962).
66. В. Н. Грибов, И. Я. Померанчук, О некоторых свойствах амплитуды упругого рассеяния при больших энергиях, *ЖЭТФ* 43, 308 (1962); *Nucl. Phys.* 38, 516 (1962).

67. В. Н. Грибов, И. Я. Померанчук, Ограничение скорости убывания амплитуд различных процессов, ЖЭТФ 43, 1556 (1962); Phys. Letts 2, 239 (1962); Proc. Int. Conf. High Energy Phys., Geneva, 1962, стр. 522—524.
68. В. Н. Грибов, И. Я. Померанчук, Полюсы Редже и особенности Ландау, ЖЭТФ 43, 1970 (1962); Phys. Rev. Letts 9, 238 (1962); Proc. Int. Conf. High Energy Phys., Geneva, 1962.
69. V. N. Gribov, I. Ya. Pomeranchuk, Asymptotic behaviour of annihilation and elastic scattering processes at high energies, Nucl. Phys. 33, 516 (1962).
70. В. Грибов, Л. Окунь, И. Померанчук, О процессах, определяемых фермионными полюсами Редже, ЖЭТФ 45, 114 (1963).
71. V. N. Gribov, I. Ya. Pomeranchuk, K. A. Ter-Martirosyan, Partial waves singularities near $j=1$ and high energy behaviour of the elastic scattering amplitude, Phys. Letts 9, 269 (1964).
72. V. N. Gribov, I. Ya. Pomeranchuk, K. A. Ter-Martirosyan, A remark to the paper «Partial waves singularities near $j=1$ and high energy behaviour of the elastic scattering amplitude», Phys. Letts 12, 153 (1964).
73. В. Н. Грибов, И. Я. Померанчук, К. А. Тер-Мартirosyan, Движущиеся точки ветвления в j -плоскости и реджионные условия унитарности, Ядерная физика 2, 361 (1965); Phys. Rev. 139, 184 (1965); в сб. «Вопросы физики элементарных частиц», Ереван, АН Арм. ССР, 1964, стр. 167; в сб. «XII Междунар. конф. по физ. выс. энергий», 1964, т. 1, М., Атомиздат, 1966, стр. 363.
74. Б. Л. Иоффе, И. Ю. Кобзарев, И. Я. Померанчук, Некоторые следствия из унитарной симметрии для процессов с участием ω -, ϕ - и f^0 -мезонов, ЖЭТФ 48, 375 (1965).
75. Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, «Теневая Вселенная» и нейтринный опыт, Письма ЖЭТФ 1, 28 (1965); Phys. Letts 16, 338 (1965).
76. А. Д. Долгов, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, В. В. Соловьев, Электромагнитные разности масс барионов и SU_6 -симметрия, Ядерная физика 1, 730 (1965); Phys. Letts 15, 84 (1965).
77. В. Н. Грибов, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, На каких расстояниях происходит взаимодействие при высоких энергиях? Ядерная физика 2, 768 (1965).
78. И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц, Ядерная физика 3, 1154 (1966).
79. В. Н. Грибов, Б. Л. Иоффе, И. Я. Померанчук, О полном сечении аннигиляции электронно-позитронных пар в адроны при высоких энергиях (будет опубликовано).

Ядерная физика и теория реакторов

80. А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук, Когерентное рассеяние γ -лучей ядрами, ЖЭТФ 7, 567 (1937); Phys. Z. Sowjetunion 10, 649 (1936).
81. I. Pomeranchuk, Nuclear reactions inside stars, J. Phys. USSR 4, 285 (1941).
82. А. Ахиезер, И. Померанчук, Об упругом рассеянии ядрами быстрых заряженных частиц, ЖЭТФ 16, 396 (1946); J. Phys. USSR 9, 471 (1945).
83. А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук, Введение в теорию нейтронных мультиплицирующих систем (реакторов), Отчет ИТЭФ, 1947.
84. А. Ахиезер, И. Померанчук, К теории резонансного рассеяния частиц, ЖЭТФ 18, 603 (1948).
85. И. Померанчук, Замечание о рассеянии частиц с нулевой энергией, ЖЭТФ 18, 1146 (1948).
86. А. Ахиезер, И. Померанчук, Некоторые вопросы теории ядра, М., Гостехиздат, 1948.
87. И. И. Гуревич, И. Я. Померанчук, Теория резонансного поглощения в гетерогенных системах. Доклады Советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Теория электромагнитных процессов

88. И. Померанчук, Максимальная энергия, которую могут иметь на поверхности земли первичные электроны космических лучей из-за излучения в земном магнитном поле, ЖЭТФ 9, 915 (1939); J. Phys. USSR 2, 65 (1940).
89. А. Мигдал, И. Померанчук, О конце трека мезотрона в камере Вильсона, ДАН СССР 27, 652 (1940); Phys. Rev. 57, 934 (1940).
90. Д. Д. Иваненко, И. Я. Померанчук, О максимальной энергии, достижимой в бетатроне, ДАН СССР 44, 343 (1944).

91. А. К и р п и ч е в, И. П о м е р а н ч у к, Экранирование эффективных сечений для тормозного излучения и образование пар с помощью экспериментальных значений атомформ-фактора, ДАН СССР 45, 301 (1944).
92. Л. А р ц и м о в и ч, И. П о м е р а н ч у к, Излучение быстрых электронов в магнитном поле, ЖЭТФ 16, 379 (1946); J. Phys. USSR 9, 267 (1945).
93. И. П о м е р а н ч у к, Излучение релятивистских электронов в магнитном поле. Бюллетень АН СССР 10, 316 (1946).
94. И. П о м е р а н ч у к, О флуктуациях ионизационных пробегов, ЖЭТФ 18, 759 (1948).
95. И. П о м е р а н ч у к, Время жизни медленных позитронов, ЖЭТФ 19, 183 (1949).
96. Б. Л. И о ф ф е, И. Я. П о м е р а н ч у к, Об электронах, образующихся при захвате π -мезонов на атомные уровни, ЖЭТФ 23, 123 (1952).
97. Л. Д. Л а н д а у, И. Я. П о м е р а н ч у к, Пределы применимости теории тормозного излучения электронов и образования пар при больших энергиях, ДАН СССР 92, 535 (1953).
98. Л. Д. Л а н д а у, И. Я. П о м е р а н ч у к, Электронно-лавинные процессы при сверхвысоких энергиях, ДАН СССР 92, 735 (1953).
99. Г. М. Г а р и б я н, И. Я. П о м е р а н ч у к, О пределах применимости теории переходного излучения, ЖЭТФ 37, 1828 (1959).

Т е о р и я к о с м и ч е с к и х л у ч е й

100. И. П о м е р а н ч у к, А. К и р п и ч е в, Спектр мягкой компоненты в воздухе при больших энергиях, ДАН СССР 41, 19 (1943).
101. И. П о м е р а н ч у к, К интерпретации экспериментальных данных о больших лавинных ливнях, ЖЭТФ 14, 252 (1944); J. Phys. USSR 8, 17 (1944).
102. А. К и р п и ч е в, И. П о м е р а н ч у к, К теории переходных эффектов в космических лучах, ДАН СССР 42, 396 (1944).

Т е о р и я т в е р д о г о т е л а

103. Л. Л а н д а у, И. П о м е р а н ч у к, О свойствах металлов при очень низких температурах, ЖЭТФ 7, 379 (1937); Phys. Z. Sowjetunion 10, 649 (1936).
104. И. П о м е р а н ч у к, О рассеянии медленных нейтронов в кристаллической решетке, ЖЭТФ 8, 894 (1938); Phys. Z. Sowjetunion 13, 65 (1938).
105. И. П о м е р а н ч у к, Кристаллическое поле у сверхпроводников малых размеров, ЖЭТФ 8, 1096 (1938).
106. Б. Д а в ы д о в, И. П о м е р а н ч у к, О влиянии магнитного поля на электропроводность монокристаллов висмута при низких температурах, ЖЭТФ 9, 1294 (1939); J. Phys. USSR 2, 147 (1940).
107. И. П о м е р а н ч у к, Теплопроводность парамагнитных диэлектриков при низких температурах, ЖЭТФ 11, 226 (1941); J. Phys. USSR 4, 356 (1941).
108. И. П о м е р а н ч у к, О теплопроводности диэлектриков при температурах больше дебаевской, ЖЭТФ 11, 246 (1941); J. Phys. USSR 4, 259 (1941).
109. И. Я. П о м е р а н ч у к, О поглощении звука в диэлектрике, ЖЭТФ 11, 455 (1941); J. Phys. USSR 4, 529 (1941).
110. I. P o m e r a n c h u k, On the thermal conductivity of dielectrics, Phys. Rev. 60, 820 (1941).
111. И. Я. П о м е р а н ч у к, О теплопроводности диэлектриков при температурах меньше дебаевской, ЖЭТФ 12, 245 (1942); J. Phys. USSR 6, 225 (1942).
112. I. P o m e r a n c h u k, Thermal conductivity of dielectrics at temperatures lower than that of Debye, J. Phys. USSR 6, 237 (1942).
113. И. П о м е р а н ч у к, Теплопроводность диэлектриков при высоких температурах, ЖЭТФ 12, 419 (1942).
114. И. П о м е р а н ч у к, К теории поглощения инфракрасных лучей в кристаллах, обладающих центром симметрии, ЖЭТФ 13, 428 (1943).
115. А. А х и е з е р, И. П о м е р а н ч у к, О тепловом равновесии между спинами и решеткой, ЖЭТФ 14, 342 (1944); J. Phys. USSR 8, 206 (1944).
116. A. A k h i e s e r, I. P o m e r a n c h u k, On the heat conductivity of salts in the magnetic cooling method, J. Phys. USSR 8, 216 (1944).
117. А. А х и е з е р, И. П о м е р а н ч у к, О теплопроводности висмута, ЖЭТФ 15, 587 (1945).
118. А. А х и е з е р, И. П о м е р а н ч у к, О рассеянии медленных нейтронов в кристаллах, ЖЭТФ 17, 769 (1947).
119. А. А х и е з е р, И. П о м е р а н ч у к, О рефракции нейтронов, ЖЭТФ 18, 475 (1948).

- 120. А. И. А х и е з е р, И. Я. П о м е р а н ч у к, О парамагнитной дисперсии, ДАН СССР 87, 914 (1952).
- 121. И. Я. П о м е р а н ч у к, Изотопический эффект в остаточном электрическом сопротивлении металлов, ЖЭТФ 35, 992 (1958).
- 122. А. И. А х и е з е р, И. Я. П о м е р а н ч у к, О взаимодействии между электронами проводимости в ферромагнетиках, ЖЭТФ 36, 859 (1959).

Т е о р и я к в а н т о в ы х ж и д к о с т е й

- 123. А. А х и е з е р, И. П о м е р а н ч у к, On the scattering of low energy neutrons, in helium II, J. Phys. USSR 9, 461 (1945).
- 124. А. А х и е з е р, И. П о м е р а н ч у к, О рассеянии нейтронов с энергией несколько градусов в жидком гелии II, ЖЭТФ 16, 396 (1946).
- 125. Л. Д. Л а н д а у, И. Я. П о м е р а н ч у к, О движении посторонних частиц в гелии II, ДАН СССР 59, 669 (1948).
- 126. И. П о м е р а н ч у к, Влияние примесей на термодинамические свойства и скорость второго звука в гелии II, ЖЭТФ 19, 42 (1949).
- 127. И. Я. П о м е р а н ч у к, К теории жидкого He^3 , ЖЭТФ 20, 919 (1950).
- 128. И. Я. П о м е р а н ч у к, Об устойчивости фермиевской жидкости, ЖЭТФ 35, 524 (1958).
- 129. А. I. A k h i e z e r, I. A. A k h i e z e r, I. Ya. P o m e r a n c h u k, On scattering of slow neutrons in a Fermi liquid, Nucl. Phys. 40, 139 (1963).