

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Михаил Иванович Рязанов

Биобиблиографический указатель трудов

Москва 2013

Биобиблиография ученых НИЯУ МИФИ

Михаил Иванович Рязанов

*профессор, доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой теоретической ядерной физики
в 1963-1965 и 1972-1983 гг.,*

ветеран Великой Отечественной войны,

Заслуженный деятель науки РФ,

Почетный профессор МИФИ,

*Почетный работник высшего профессионального образования,
награжден орденом «Знак Почета СССР»,
нагрудными знаками «Академик И.В. Курчатов» 3 и 4 степени*



[Handwritten signature]

УДК 539.1 (092)
ББК 22.38
Р99

Михаил Иванович Рязанов: биобиблиографический указатель трудов.
– М. : НИЯУ МИФИ, 2013. – 128 с. : цв. ил.

В указателе представлены биографические сведения, фотодокументы, библиография трудов и избранные публикации крупного ученого в области теоретической физики М.И. Рязанова. Рассказы коллег, друзей и учеников дают представление о Михаиле Ивановиче как о незаурядном разностороннем человеке, заслуженном ученом и замечательном педагоге. Библиография трудов подготовлена с использованием документов библиотечного фонда НИЯУ МИФИ, информация о которых представлена в электронных каталогах на сайте www.library.mephi.ru.

Указатель адресуется научным сотрудникам, занимающимся проблемами ядерной физики, преподавателям, аспирантам, студентам и широкому кругу читателей, интересующихся историей отечественной науки.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом НИЯУ МИФИ

ISBN _-____-0606-1

©Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2013

Составители: Н.В. Фадеева, Е.А. Старцева, Т.Н. Стукалова

Редактор: И.П. Капочкина

*Компьютерная верстка: А.Н. Дроздовский, Н.Н. Дроздовский,
Г.А. Петрухина*

Подписано в печать __.__.2013 Формат 60 × 84 1/16

Печ. л. __,0 Тираж 100 экз. ??? Заказ №

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, Москва, Каширское шоссе, 31

Содержание

Предисловие.....	6
Биографический очерк научной и педагогической деятельности М.И. Рязанова	7
Заслуженные деятели науки о М.И.Рязанове	24
Слово Михаилу Ивановичу Рязанову.....	34
Коллеги, друзья, ученики о профессоре М.И.Рязанове	39
Избранные статьи из научных журналов	55
Цитирование научных трудов	77
Монографии, учебные пособия, отдельные издания	81
Хронологический указатель трудов.....	83
Авторские свидетельства.....	125
Авторский указатель	126

Предисловие

Настоящим изданием продолжается серия «Биобиблиография ученых НИЯУ МИФИ». Биобиблиографический указатель посвящен одному из активнейших ученых НИЯУ МИФИ, заслуженному профессору, Михаилу Ивановичу Рязанову – известному специалисту по теории взаимодействия электромагнитного излучения и заряженных частиц с веществом. Профессор М.И. Рязанов не только сам внес весомый вклад в теоретическую физику, но и воспитал плеяду известных теоретиков.

Михаил Иванович возглавлял кафедру теоретической ядерной физики МИФИ в 1963-1965 и 1972-1983 годы. Он продолжил начатую В.М. Галицким работу по созданию научно-педагогического коллектива. Благодаря сотрудничеству кафедры с академическими и отраслевыми институтами появился штат научных сотрудников. Так, в 70-80-е годы кафедра стала не просто педагогическим, но и известным в стране и мире научным коллективом.

Долгая жизнь М.И. Рязанова в науке объясняется тем, что физика всегда была и остается его главным увлечением. В указателе приведены библиографические данные на его многочисленные работы, доклады на конференциях патенты на изобретения. Полностью приведены три работы М.И. Рязанова, дающие представление о его разносторонних научных интересах. Издание также включает автобиографический очерк, рассказы коллег и друзей о М.И. Рязанове, фотодокументы.

Составители выражают благодарность профессору НИЯУ МИФИ Владиславу Михайловичу Дубовику за содействие в подготовке биографических материалов.

Указатель адресуется научным сотрудникам, занимающимся проблемами теоретической физики, преподавателям, аспирантам, студентам и широкому кругу читателей, интересующихся историей отечественной науки.

Биографический очерк научной и педагогической деятельности М.И. Рязанова

Михаил Иванович Рязанов родился 12 ноября 1926 г. в городе Саратове, в семье служащих. Его родители окончили Саратовский университет и в дальнейшем преподавали в том же университете. После окончания средней школы Михаил Рязанов в январе 1944 г. был призван в Советскую Армию.

В декабре 1944 г. окончил Московское военно-инженерное училище, где прошел ускоренный шестимесячный курс, получив звание младшего лейтенанта. Служил командиром саперного взвода. Михаил Иванович говорит: «Вот такая деталь – мне было восемнадцать, а у меня во взводе все – пятидесятилетние бойцы. И они мне казались стариками, в общем, положение было довольно необычное». Взвод занимался опасной, напряженной работой. За заслуги перед Родиной М.И. Рязанов награжден медалью «За Победу над Германией» и юбилейными медалями.

Демобилизовался в декабре 1945 г., а в январе 1946 уже стал студентом первого курса Московского механического (потом инженерно-физического) института, который окончил с отличием в декабре 1950 г. В 1951 г. поступил в аспирантуру на кафедру теоретической ядерной физики (ТЯФ).

Создателем кафедры и первым её заведующим был всемирно известный физик-теоретик академик И.Е.Тамм, руководитель теоретического отдела ФИАН (Физического института Академии Наук), позже его сменили академик М.А. Леонтович и профессор В.Г. Левич.

Научный руководитель М.И. Рязанова, профессор Е.Л. Фейнберг, работал в теоретическом отделе ФИАН, в МИФИ был совместителем. Все преподаватели кафедры в то время были совместителями, основную работу они вели в Академии наук. Ведущие физики-теоретики из институтов Академии наук читали лекции с учетом последних достижений науки. Штатных преподавателей на кафедре тогда не было, как не было и научного коллектива кафедры. Поэтому все три года аспирантуры Михаил

Иванович был прикомандирован к теоретическому отделу ФИАН.

Работа в одном из лучших в мире центров теоретической физики сформировала его как физика-теоретика. Применение новых в то время достижений квантовой электродинамики к электромагнитным процессам в веществе послужило началом научной деятельности М.И. Рязанова.

В 1958 г. Михаил Иванович защищает диссертацию «Учет поляризации окружающей среды в высших приближениях теории возмущений в квантовой электродинамике» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Окончив аспирантуру, он становится преподавателем кафедры теоретической ядерной физики, где появились штатные преподаватели из её выпускников.

В 1961 г. совмещение руководящих должностей было запрещено, и В.Г. Левич перестал руководить кафедрой. Его сменил выпускник кафедры Виктор Михайлович Галицкий, автор ряда выдающихся научных работ. В.М. Галицкий, оценив ситуацию на кафедре, поставил цель – создать научный коллектив. Виктор Михайлович успешно руководил научной работой кафедры в 1961-1962 гг., но в 1963 г. перешел на работу в Институт ядерной физики в Новосибирске. Тогда заведующим кафедрой был избран М.И. Рязанов, продолживший работу по развитию научного коллектива кафедры.

На кафедре теоретической ядерной физики Михаил Иванович прошел все ступени нелегкого, но интересного пути – от преподавателя до профессора, заведующего кафедрой. Он добился разрешения претворить в жизнь новый учебный план, в котором теоретическую физику стали читать на семестр раньше, и за счет этого были введены новые спецкурсы для студентов-теоретиков. Это было важным событием, так как повысило квалификацию выпускников кафедры.

М.И. Рязанов всегда активно занимался научной работой, развивая квантовую электродинамику для процессов в веществе – феноменологическую квантовую электродинамику. В частности,

им развиты методы вычисления высших приближений теории возмущений – радиационных поправок в квантовой электродинамике в веществе.

В 1962 г. Михаил Иванович предсказал существование процесса комбинационного излучения, отличающегося от комбинационного рассеяния тем, что роль начальной плоской волны играет фурье-компонента собственного поля быстрой заряженной частицы. В 1965 г. М.И. Рязанов ушел в творческий отпуск для окончания работы над докторской диссертацией. В то же время В.М. Галицкий решил вернуться в Москву. Он вновь стал заведующим кафедрой ТЯФ и руководил ею до 1971 г., когда перешел на основную работу в Курчатовский институт и был избран членом-корреспондентом Академии наук.

В 1966 г. М.И. Рязанов успешно защитил диссертацию на степень доктора физико-математических наук, в которой развита теория влияния рассеяния заряженных частиц и фотонов в среде на процессы электромагнитных взаимодействий. После защиты диссертации Михаил Иванович интенсивно работал над теорией электромагнитных взаимодействий быстрых частиц в монокристаллах и в 1968 г. утвержден в ученном звании профессора.

В 1967 г. для улучшения подготовки студентов периферийных вузов в МИФИ, как и во многих других, был организован Факультет повышения квалификации преподавателей вузов (ФПК). М.И. Рязанов был назначен первым деканом этого факультета в МИФИ, он провел большую работу по организации и совершенствованию учебного процесса.

В 1972 г. Михаил Иванович освобожден от должности декана ФПК в связи с избранием на должность заведующего кафедрой ТЯФ, где работал до 1983 г. В то время на кафедре сложился научный коллектив. Стали проводиться хозяйственные работы с ведущими научными учреждениями, и в дополнение к преподавателям появились штатные научные сотрудники. Профессорами кафедры в аспирантуре было подготовлено много талантливых молодых ученых. Под руководством М.И. Рязанова 14 аспирантов подготовили и успешно защитили кандидатские диссертации,

10 из них в дальнейшем защитили докторские диссертации и стали известными в своей области специалистами, профессорами.

Научные работы М.И. Рязанова и его учеников посвящены теоретическому изучению процессов электромагнитного взаимодействия заряженных частиц и электромагнитного поля в веществе. Изучались самые разные процессы и вещества – от монокристаллического диэлектрика до легированных аморфных полупроводников.

Так, в 1964 г. М.И. Рязановым и Н.П. Калашниковым была создана теория рассеяния частиц в веществе без использования кинетического уравнения, которая упростила рассмотрение квантомеханических взаимодействий в веществе и способствовала решению ряда новых физических задач. Применение этой теории к рассеянию заряженных частиц в аморфной среде позволило впервые получить угловое распределение частиц в эффекте Ландау-Померанчука. В 1968-1972 гг. применение этой теории к монокристаллам позволило исследовать различные случаи процессов рассеяния заряженных частиц в кристаллах и тормозного излучения движущихся в кристалле частиц.

Полученные результаты были представлены М.И. Рязановым на Симпозиуме МАГАТЭ «Биофизические аспекты качества излучения» в 1971 г. в Сиднее (Австралия). А результаты работ по прохождению быстрых частиц и излучению электромагнитных волн в кристаллах изложены в докладе на 5 Международной конференции по атомным столкновениям в твердых телах в Гатлинбурге (США) в 1973 г.

В 1975 году М.И. Рязанов направлен в научную командировку в Англию на 4 месяца для работы в Эмпериал-колледж Лондонского университета, где выполнял работы по теории кинетической эмиссии электронов из твердых тел при резонансном поглощении возбуждений и по теории измерения плотности электронов вблизи поверхности жидкого металла по отражению рентгеновских лучей.

Ряд работ М.И. Рязанова с соавторами посвящен уточнению распределения быстрых частиц в веществе, где впервые учитыва-

лось влияние искривления траектории частицы в веществе из-за многократного рассеяния. Результаты всех этих работ обобщены в монографии Н.П. Калашникова, В.С. Ремизовича и М.И. Рязанова «Столкновения быстрых заряженных частиц в твердых телах» Москва, Атомиздат, 1980 г. Перевод на английский язык осуществлен в 1985 г. издательством Gordon and Breach Science. Исследования в этом направлении проводились и позже. Полученные результаты изложены в монографии В.С. Ремизовича, Д.Б. Рогозкина и М.И. Рязанова «Флуктуации пробегов заряженных частиц» (Москва, Энергоатомиздат, 1988 г.).

Внимание Михаила Ивановича привлекает переходное излучение при пересечении равномерно движущимся зарядом границы раздела двух сред, и в 1976 г. М.И. Рязанов и И.С. Тилинин впервые показали, что возможна фокусировка переходного излучения при искривленной поверхности раздела сред. Это недавно было подтверждено экспериментально.

В 1979 г. М.И. Рязанов направлен в научную командировку в США в г. Питтсбург для работы в университете. Работа позволила ему детально ознакомиться с положительными и отрицательными сторонами подготовки студентов в США. Во время командировки М.И. Рязановым теоретически рассмотрена роль кильватерного заряда в электромагнитных взаимодействиях быстрых заряженных частиц в веществе.

В 1980 году М.И. Рязанова заинтересовала работа по аморфным полупроводникам: было рассмотрено взаимное влияние поглощения света двух частот в аморфных полупроводниках, особенности кинетики фотопроводимости аморфных полупроводников. В 1985 г. рассмотрены особенности электронной структуры полупроводниковых метастабильных одночастичных возбуждений и В.Г. Кудрявцевым, М.И. Рязановым и С.Н. Тараскиным получено авторское свидетельство на способ определения энергетической плотности локализованных электронных состояний.

В 1983 г. Михаил Иванович был освобожден от обязанностей заведующего кафедрой по собственному желанию, у него появи-

лось больше времени для научной работы. Он с успехом сочетает работу по нескольким научным направлениям.

Вместе с его аспирантом С.Л. Дударевым начаты исследования дифракции быстрых заряженных частиц в монокристаллах. Определены границы Брегговской дифракции заряженных частиц в монокристаллах. В 1984 г. С.Л. Дударев и М.И. Рязанов теоретически рассмотрели взаимное влияние некогерентного и когерентного рассеяния заряженных частиц в монокристаллах, ориентационные эффекты в угловом распределении вылетающих из кристалла частиц и ориентационную зависимость потерь энергии быстрых электронов в кристалле. В 1985 г. они впервые решили квантовое кинетическое уравнение в локально-эйкональном приближении.

В 1987 г. М.И. Рязанов начинает исследование явлений у поверхности раздела сред, связанных со свойствами поверхности. В частности, рассматривались методы получения информации о поверхности по взаимодействию с ней заряженных частиц. Результаты исследований приведены в монографии М.И. Рязанова и И.С. Тилинина «Исследование поверхности по обратному рассеянию частиц» (Москва, Энергоатомиздат, 1985 г.).

Большое внимание уделяется также процессам излучения, обусловленным существованием поверхности среды – переходному излучению при пролете заряда через границу раздела сред и дифракционному излучению при пролете заряда вблизи поверхности среды.

В 1984 г. М.И. Рязанов впервые показал, что существует предел применимости макроскопической электродинамики к теории переходного излучения при излучении оптических фотонов.

В 1988 г. в работе Е.Е. Городничева, С.Л. Дударева, Д.Б. Рогозкина и М.И. Рязанова получено объяснение экспериментально обнаруженного аномального отражения рентгеновских лучей от поверхности твердого тела.

В 1991 г. М.И. Рязановым впервые показано, что для нерелятивистских электронов существует ориентационная зависимость

спектра излучения в монокристалле. Позднее, в 1993 г., им впервые предсказано существование аномальных электромагнитных волн в монокристалле вблизи нулей диэлектрической проницаемости. В том же году, в работе М.И. Рязанова и А.Н. Сафронова, впервые рассмотрено излучение при отражении быстрой заряженной частицы от поверхности монокристалла, названное *квазипереходным излучением*.

В 1995 г. М.И. Рязанов обобщил теорию влияния локального поля на неоднородные среды и затем рассмотрел влияние естественного изменения поляризации приповерхностного слоя вещества (незадолго перед этим обнаруженного экспериментально) на электромагнитные поверхностные волны.

В 1998 г. М.В. Горкуновым и М.И. Рязановым предсказано, что в ахиральных жидких кристаллах существует флуктуационная пространственная дисперсия, и вблизи нулей главных значений диэлектрической проницаемости одноосного кристалла должны существовать добавочные электромагнитные волны.

Развивая теорию переходного излучения, М.И. Рязанов и А.Н. Сафронов в 1996 г. рассмотрели эффекты интерференции переходного излучения от неплоских поверхностей, а в 1997 г. построили микроскопическую теорию переходного излучения при скользящем падении заряженной частицы на поверхность раздела сред.

В 2002 г. М.И. Рязановым и А.А. Тищенко исследовано излучение заряда, пролетающего через мономолекулярную пленку. Два года спустя М.И. Рязанов и В.М. Дубовик построили теорию переходного излучения при неоднородной поверхности среды.

Теорию переходного излучения ультрарелятивистской частицы при скользящих углах вылета построили С.В. Ивлиев, М.И. Рязанов и М.Н. Стриханов в 2006 г.

Влияние внешнего поля на рентгеновское переходное излучение рассмотрено в 2007 г. М.И. Рязановым, А.А. Тищенко и М.Н. Стрихановым, а в 2009 г. ими исследовано переходное излучение назад от поверхности, покрытой слоем наночастиц.

Переходное излучение больших частот от одноосного кристалла исследовано в 2011 г. Е.А. Глазковой, М.И. Рязановым и М.Н. Стрихановым.

Переходное излучение больших частот от поверхности сложного профиля изучено В.М. Дубовиком и М.И. Рязановым и опубликовано в журнале «Ядерная физика» в 2013 г.

Вкладу М.И. Рязанова в развитие теории дифракционного излучения, которое возникает при пролете заряда вблизи поверхности вещества из-за рассеяния собственного поля заряда на молекулах вещества, положено начало в 1998 г. созданием теории излучения заряда, движущегося в вакууме параллельно поверхности нестационарной среды в работе В.А. Осипова и М.И. Рязанова.

Дифракционное излучение от неоднородного диэлектрического слоя на поверхности идеального проводника рассмотрено в 2004 г. в работе М.И. Рязанова, М.Н. Стриханова и А.А. Тищенко. Годом позже М.И. Рязановым рассмотрено дифракционное излучение на резонансной частоте. Зависимость дифракционного излучения от энергии ультрарелятивистской частицы исследована в работах М.И. Рязанова в 2006 г. В следующем году, Михаил Иванович занимался изучением эффекта локального поля в дифракционном излучении от системы наночастиц, что нашло отражение в работе М.И. Рязанова и А.А. Тищенко. Дифракционное излучение от диэлектрического клина на резонансной частоте исследовано в 2008 г. в работе С.В. Андреева, М.И. Рязанова и М.Н. Стриханова. Теория дифракционного излучения быстрой частицы, индуцированного внешним полем, построена М.И. Рязановым в 2009 г. и в том же году исследованы интерференционные эффекты в дифракционном излучении в работе М.И. Рязанова, М.Н. Стриханова и А.А. Тищенко.

Результаты исследования дифракционного излучения релятивистских частиц подведены в монографии А.П. Потылицына, М.И. Рязанова, М.Н. Стриханова и А.А. Тищенко «Diffraction radiation from relativistic particles», Berlin, Heidelberg:-Springer-Verlag, 2010.

Михаил Иванович преподает теоретическую физику студентам более полувека. Накопленный им педагогический опыт получил отражение в изданных учебных пособиях по теоретической физике. Это книги «Электродинамика конденсированного вещества» (Москва, Наука, 1984), «Введение в электродинамику конденсированного вещества», (Москва, Физматлит, 2002), а также написанное совместно с А.П. Потылицыным, М.Н. Стрихановым и А.А. Тищенко учебное пособие «Дифракционное излучение релятивистских частиц», изданное Томским политехническим университетом в 2008 г., и ряд других.

Михаил Иванович работает в НИЯУ МИФИ уже 62 года, ведет несколько научных проектов, полон идей и творческих планов.



С коллегами в ФИАНе. 1952 г.
Слева направо: 1 ряд – Е.Л. Фейнберг, М.И. Рязанов, Н.М. Полиевктов-
Николадзе, 2 ряд – М.Л. Тер-Микаелян



Участники международного симпозиума RREPS-07. Прага, 2007 г.



На торжественном собрании в честь 65-летия МИФИ. 23 ноября 2007 г.



На выставке новых поступлений в научном читальном зале МИФИ, 2008 г.



Участники международного симпозиума RREPS-09. Звенигород, 2009 г.



Во время встречи ветеранов Великой Отечественной войны со студентами МИФИ и учащимися лицея № 1511, 2010 г.



У здания университета в пригороде Лондона. Эгем, 2011 г.



Рабочий момент симпозиума в Эгеме, 2011 г.



Участники симпозиума в столовой университета. Эгем, 2011 г.



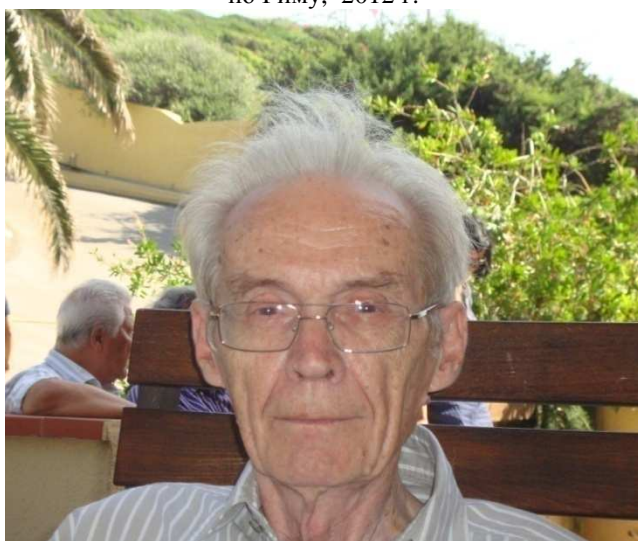
Участники конференции на набережной Темзы, 2011 г.



Преподаватели НИЯУ МИФИ и Томского университета в лаборатории Лондонского университета, 2011 г.



Представители НИЯУ МИФИ и Томского университета на экскурсии по Риму, 2012 г.



После конференции в Альгеро, Италия, 2012 г.



Профессор Б.М. Болотовский. 2012 г.



Профессора А.А.Рухадзе и В.П.Силин в ФИАНе. Сентябрь 2013 г.

Заслуженные деятели науки о М.И.Рязанове

Борис Михайлович Болотовский,

*доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник
отделения теоретической физики ФИАН*

С Михаилом Ивановичем Рязановым я знаком уже больше шестидесяти лет. После окончания Московского государственного университета я был направлен на работу в Физический институт им. П.Н. Лебедева Академии наук СССР и там познакомился с Мишей Рязановым. Тогда он был аспирантом Теоретического отдела. Его научным руководителем был профессор Евгений Львович Фейнберг. От него Миша получил тему исследования, связанную с прохождением быстрых заряженных частиц через вещество. После классической работы И.Е. Тамма и И.М. Франка, в которой была дана теория излучения Вавилова-Черенкова, вопросы, связанные с прохождением заряженных частиц через вещество, стали традиционной темой исследования не только в теоретическом отделе ФИАН, но и в других лабораториях Института. При этом проводились не только теоретические исследования, но и велись эксперименты. В то время интерес к этому явлению определялся тем обстоятельством, что разные виды излучения, возникающего при прохождении быстрой заряженной частицы через среду, могут быть использованы для регистрации этой самой частицы. Появились и стали широко использоваться черенковские счетчики, потом – счетчики на переходном излучении. Позднее исследование прохождения заряженных частиц через среду привело к тому, что появилась возможность генерации достаточно мощного электромагнитного излучения пучками заряженных частиц, проходящих через среду.

Можно сказать, что тема исследования, предложенная М.И. Рязанову Е.Л. Фейнбергом как основа для диссертации, в значительной мере определила его научные интересы в дальнейшей жизни. С другой стороны, М.И. Рязанов с самого начала обладал высокой степенью самостоятельности, и научные контакты с руководителем по существу прекратились после окончания аспирантуры.

Так получилось, что и мне пришлось изучать некоторые задачи, тоже связанные с прохождением частиц через среду. На этой почве завязалось наше с Мишей общение. И оно переросло в дружеские отношения, которые длятся уже более полувека – всю нашу научную жизнь. Оглядываясь назад, я не могу вспомнить ни одного случая, когда бы между нами возникла напряженность. Конечно, когда мы обсуждали ту или иную научную проблему из круга наших интересов, между нами могли возникнуть разногласия. Но, в конце концов, мы приходили к такому решению, с которым оба соглашались. И неважно, кто в начале был прав, а кто нет – мы оба получали удовлетворение от того, что пришли к правильному решению.

Хотя Миша работал в МИФИ, а я – в ФИАНе, виделись мы довольно часто. Дома я у него так и не побывал, как и он у меня. Виделись мы по работе, когда обсуждались задачи, которые представляли для нас общий интерес. Приезжаю я в Ереван на заседание Ученого совета Ереванского физического института (я был членом этого Ученого совета) и встречаю там Мишу Рязанова – он приехал по приглашению, на обсуждение планов развития исследований по переходному излучению. Или приезжаю я в город Минск – там защита диссертации, а я назначен оппонентом. Уже знаю, в какой гостинице меня поселят. Прихожу в отведенный мне номер, и оказывается, что это не одиночный, а двухместный номер, и там уже есть постоялец, и этот постоялец – профессор Михаил Иванович Рязанов. Оказывается, он тоже оппонент, и по той же самой защите. Меня такие встречи неизменно радовали. И поговорить можно, обсудить новости, и вместе сходить в буфет.

И в нашем институте М.И. Рязанов появлялся довольно регулярно. Он был членом ученого совета ФИАН и очень редко пропускал заседания. Когда приезжал, почти каждый раз заходил ко мне. И всегда нам было о чем поговорить.

Научную свою деятельность М.И. Рязанов успешно совмещает с преподаванием. Он не только ученый, он – учитель. У него много учеников, активно работающих в науке. Он автор (и соавтор) многих монографий и учебников. Его учебник электродина-

намики и его лекции, которые он всегда читает с учетом последних достижений, стали основой для обучения не одного поколения физиков.

В течение многих лет М.И. Рязанов занимал должность заведующего кафедрой теоретической физики Московского инженерно-физического института. Эта кафедра была создана знаменитым физиком, Нобелевским лауреатом, академиком Игорем Евгеньевичем Таммом. В течение нескольких лет И.Е. Тамм заведовал этой кафедрой. Так получилось, что Миша прошел аспирантуру в Теоретическом отделе ФИАН, который создал и возглавлял И.Е. Тамм. При этом Миша учился в аспирантуре Теоретического отдела ФИАН еще при жизни Игоря Евгеньевича. Потом он работал в МИФИ на кафедре, созданной И.Е. Таммом, а позже и возглавил эту кафедру. И в связи с этим я расскажу полуанекдотическую историю о том, как М.И. Рязанов помог отстаить творческое наследие И.Е. Тамма. Слово «полуанекдотический» в данном случае относится не к М.И. Рязанову, а к издателям, которые пытались «исправить» эту прекрасную книгу.

В конце 80-х годов прошлого века академик Виталий Лазаревич Гинзбург, один из учеников И.Е. Тамма, решил переиздать замечательную книгу – учебник И.Е. Тамма «Основы теории электричества». Эта книга явилась первым систематическим учебником электродинамики на русском языке, и она полностью сохранила свое значение. Десятью годами раньше, уже после смерти Игоря Евгеньевича Тамма, вышло девятое издание книги. Виталий Лазаревич поручил мне подготовить к печати десятое издание. Для переговоров об издании я отправился в издательство «Физматгиз» к Людмиле Ивановне Гладневой, которая заведовала одной из редакций в этом издательстве. Познакомился я с Людмилой Ивановной, получил от нее «добро» на подготовку книги к печати и стал книгу внимательно читать – для того, чтобы не пропустить опечаток. Опечатки, к сожалению, попадались. Недели через две позвонила мне Людмила Ивановна Гладнева. Она спросила, как идет редактирование. Я ей ответил:

– Читаю, исправляю опечатки.

Людмила Ивановна на это сказала:

– Имейте в виду: книга устарела. Этого мало – исправлять опечатки. Надо в ряде мест поменять формулировки.

– Где именно? – спросил я.

– Вот, например, в том месте, где рассматривается сила, действующая на заряд в электрическом поле. Это в § 2.

Я открыл соответствующую страницу. Нашел место, которое Людмила Ивановна считала нужным изменить:

«Эта сила, действующая на заряд $e'=1$, называется *напряженностью*, или *напряжением*, или *силой электрического поля*, или же просто *электрическим вектором* и обозначается буквой ***E***. Мы будем пользоваться первым из этих терминов, сохранив термин «напряжение» для совершенно другого понятия разности потенциалов и линейного интеграла вектора ***E***».

Я прочитал и спрашиваю:

– Что вам не нравится?

– Не нравится, что автор сам не знает, как назвать физическую величину. Одно название приводит, и другое, и третье, и четвертое, – и все для одной и той же величины. Это же учебник, нельзя путать студентов.

Я говорю:

– Людмила Ивановна, этот учебник написан в конце двадцатых годов. Тогда еще не было единой терминологии, одна и та же величина называлась по-разному. И.Е.Тамм в своей книге как раз и отмечает этот факт. И он вводит единственный термин – напряженность, и этот термин потом применяется дальше в книге, а потом стал общеупотребительным.

– Все равно так нельзя, – говорит Людмила Ивановна. – Надо все лишние термины убрать и оставить только один правильный. Напряженность.

Думаю, что нельзя так редактировать Тамма, как это хочет делать Людмила Ивановна. А она продолжает:

– Нужна большая работа по переделке книги. Книга во многих отношениях устарела. Вот, например, смотрите. В книге используется термин «электрическая индукция». А этот термин в настоящее время не применяется.

– Как не применяется?

– Не применяется. Наша редакция издавала словник по электромагнетизму – сборник терминов, применяемых в физике и технике, в описании и применениях электричества и магнетизма. Там термин «магнитная индукция» есть, а термина «электрическая индукция» нет.

Я говорю:

– Ваш словник неполный, если в нем нет электрической индукции.

– Нет, он полный. Он рекомендован к применению во всех странах, входящих в Совет Экономической Взаимопомощи.

Ну, думаю, дело плохо. Составитель по недосмотру не поместил в словник термин «электрическая индукция», и теперь этот термин нельзя употреблять не только в СССР, но и во всех странах СЭВ. По крайней мере, так считает заведующая редакцией. Как же теперь преподавать электродинамику и как мне выполнить поручение Виталия Лазаревича Гинзбурга – подготовить к изданию книгу И.Е. Тамма?

Я не согласился с Людмилой Ивановной, и тогда меня вызвали на редакционный совет. Там уже несколько человек требовали от меня, чтобы я сделал книгу Тамма более современной и, в частности, убрал из книги термин «электрическая индукция». Задача, поставленная передо мной, была такой же степени трудности, как задача самому подковать лошадь, не имея ни лошади, ни подковы. Электрическая индукция в электродинамике является таким же основным понятием, как и электрическое поле.

Вот, говорят «знание-сила». Но невежество – тоже сила, и нередко оно бывает посильнее знания. Чтобы в этом убедиться, достаточно проследить за тем, как невежественные чиновники реформируют Российскую Академию Наук.

Что было делать? Виталию Лазаревичу Гинзбургу я ничего не рассказывал, зная его взрывной темперамент и опасаясь за судьбу издательства. Как-то при встрече я рассказал об этом Михаилу Ивановичу Рязанову. Миша не поверил. Он хорошо знал книгу Тамма и считал, что редакция не ведает, что творит. Мы с ним составили план действий, направленных на то, чтобы издать в

десятый раз прекрасный учебник И.Е. Тамма и при этом спасти книгу от «улучшения».

Я позвонил Людмиле Ивановне Гладневой и предложил ей послать запрос в какое-нибудь высшее учебное заведение, где электродинамика является обязательным курсом, например, в МИФИ, на кафедру теоретической физики – в то подразделение, которое и проводит преподавание электродинамики. Обратиться туда и спросить, что надо сделать, и надо ли что-то делать для того, чтобы учебник Тамма стал более современным. Л.И. Гладнева согласилась и послала такой запрос в МИФИ. И получила ответ за подписью заведующего кафедрой теоретической физики профессора М.И. Рязанова. Рязанов писал, что текст книги И.Е. Тамма за годы переизданий стал каноническим и что изменения допустимы лишь в немногих исключительных случаях. Получив такой ответ, Л.И. Гладнева больше не требовала от меня, чтобы я внес изменения в книгу И.Е.Тамма. Но издавать эту книгу она все же опасалась. Кто ее знает, электрическую индукцию – можно про нее писать или нет. Книга была передана в другую редакцию и там была издана без вивисекции. Спасибо Михаилу Ивановичу Рязанову.

Одним из достижений М.И. Рязанова является регулярное проведение летней школы МИФИ. Миша – один из организаторов этого мероприятия. Хорошо продуманный подбор лекторов, хорошие условия проживания, полноценная кормежка даже в трудные годы перестройки, – и все это в замечательном месте с прекрасными природными условиями. Казалось бы, при комфортном проживании в красивом месте, которое не затоптала еще нога человека, наука не полезет в голову. Но нет, очень хорошо идут занятия. Летние школы МИФИ принесли много пользы всем участникам.

Творческому долголетию профессора М.И. Рязанова можно только позавидовать. От души ему желаю успешной работы, – и научной, и педагогической. А себе желаю почаще с ним видеться.

Виктор Павлович Силин,
*доктор физ.-мат. наук, профессор, член-корреспондент РАН,
заслуженный деятель науки Российской Федерации,
лауреат Государственных премий СССР,
главный научный сотрудник сектора теории
плазменных явлений ФИАН*

Мы познакомились с Михаилом Ивановичем Рязановым, когда он готовился к защите диссертации в аспирантуре Теоретического отдела ФИАН. Его научным руководителем был Евгений Львович Фейнберг. Защита состоялась в феврале 1958 г.

Среди молодежи теоретического отдела он был «своим парнем», душой нашего молодого коллектива. Хотя старался занимать в какой-то мере скромное место. На самом деле, он был хитрец и в дружески-издевательской форме тех, кто был дольше в ФИАНе, называл «корифеями», хотя по возрасту он был старше некоторых своих коллег. Это я хорошо запомнил, потому что меня он тоже так называл – а мне это тогда не очень нравилось. А Михаил этим пользовался, при этом всем было весело, и вообще радостное настроение, на мой взгляд, было очень характерно для него всегда. Таким Михаила я и помню.

Мне кажется, он такой и сейчас, правда, в последнее время нашим общением бывают только телефонные разговоры.

В 1963 – юбилейном году я встретился с Михаилом Ивановичем не только в ФИАНе, но и в МИФИ. В отличие от него, чело- века к этому времени уже с большим опытом педагогической работы – профессионалом, я был любителем, хотя за 7 лет до этого начало моей педагогической деятельности состоялось в МФТИ. Читая на кафедре теоретической ядерной физики у Михаила Ивановича курс лекций по квантовой механике, мне приходилось много внимания уделять работе со студентами. Я часто пользовался советами опытного в этом деле Михаила Ивановича, его советы помогали мне решать различные вопросы преподавания.

Когда я только начинал читать свои лекции, студенты однажды спросили: «Что Вам нужно на экзамене – чтобы мы знали или понимали?» Мой ответ был простой: «Если будете только знать и понимать – это уровень двойки» – «А что же надо?» – «Надо уметь». То есть я их учил, как работать. И так же продолжают учить своих студентов мои преемники. Что должен уметь делать студент, который занимается теоретической физикой? Он должен не только рассуждать, но он должен и претворить свои рассуждения в те формулы, законы, которые он намерен открыть в своей работе.

В заключение, мне бы хотелось отметить следующее. Я хорошо в школе учился, но отцу нужно было меня воспитывать, а как? Сказать, что я не умный, когда у сына только одного цвета отметки, нельзя. Поэтому он придумал говорить так: «Ты умный, но ты не мудрый». Так вот, Михаил Иванович за годы преподавания чему меня научил, так это элементу мудрости, и я к нему отношусь как к мудрому учителю. Может быть, больше ничего не стоит говорить. Он такой человек, который не только радуется научной работе и воспитанию студентов (а то ведь можно подумать, что вот эта радость единственная), он понимает трудности и печали, и более того, те печали, которые его ожидают. Но он никогда ни на что не жалуется.

Вот что мне хотелось сказать о Михаиле Ивановиче.

*Анри Амвросьевич Рухадзе,
доктор физ.-мат. наук, профессор,
академик АИИ им. А.М. Прохорова,
лауреат Государственных премий СССР,
главный научный сотрудник теоретического отдела ИОФ РАН*

В то время, когда мы учились в аспирантуре, люди были очень близки по жизненному смыслу, и наукой занимались исступленно. Другой образ жизни был.

Михаил Иванович на целых 4 года старше меня, старшее поколение. Тем не менее, я с Михаилом Ивановичем познакомился в аспирантуре. Он поступил в аспирантуру на полгода или на год раньше. Я в МИФИ был «пришельцем», сначала я учился на физико-техническом факультете МГУ, который был расформирован как факультет весной-летом 1951г., и осенью, когда я вернулся с каникул, оказался в Московском механическом институте боеприпасов. Я тут же объявил протест, почти не ходил на учебу, посещал только лекции Евгения Львовича Фейнберга, который читал теоретическую физику и теорию излучения, и еще курс лекций Вениамина Григорьевича Левича по статистической физике.

В результате в МИФИ я остался только потому, что пришел в теоретический отдел, начал работать с теоретиками и познакомился, разумеется, с Михаилом Ивановичем Рязановым. Мы с ним в одном году, в 1958, защитили диссертации, он в феврале, а я в апреле. Михаил Иванович был направлен в МИФИ на кафедру теоретической физики, заведующим которой был в то время В.Г. Левич. Потом он ушел с поста заведующего в 1961 году, и заведующим стал в 1962 году Галицкий, который в конце года тоже ушел, и заведовать кафедрой стал Михаил Иванович Рязанов. С 1962 года он заведующий, а его заместителем был мой однокурсник и очень близкий мой друг, ныне покойный, Евгений Евгеньевич Ловецкий. И так как он был многие годы заместителем Рязанова, я близко познакомился с Михаилом Ивановичем.

Я могу сказать следующее. Когда мы были в аспирантуре, он занимался, если говорить на языке физиков, решением задач квантовой электродинамики в средах, осваивал фейнмановскую технику в средах, а я занимался тогда квантовой электродинамикой, советовался с ним по вопросам вычисления различных матричных элементов.

Более того, в 1983 году, когда М.И. Рязанов написал книгу по электродинамике и хотел опубликовать ее¹ в издательстве «Springer», я ему помогал в оформлении книги и рецензировал ее (к этому времени вышла также и моя книга с Гинзбургом в «Springer»).

С Михаилом Ивановичем Рязановым мы встречались неоднократно на юбилеях друзей. Он очень хороший человек, и как хороший компаньон и веселый человек, всегда был центром внимания. Таким он остается и сейчас.

¹ Рязанов М. И. Электродинамика конденсированного вещества : учебное пособие для вузов / М. И. Рязанов. – М. : Наука, 1984. – 304 с.

Слово Михаилу Ивановичу Рязанову

Из беседы главного редактора газеты «Инженер-физик» С. Николаевой с ветераном Великой Отечественной войны, профессором Михаилом Ивановичем Рязановым

*«Занятие наукой – очень интересное дело...
Вот, когда у тебя получается, когда видишь плод своего труда
и начинаешь себя уважать – это приятная сторона жизни»*

М.И. Рязанов

Ветераны войны всегда пользовались авторитетом в институте. Их уважали, к ним прислушивались. Ветераны были совестью института. И нередко на каких-то собраниях, когда другие предпочитали отмалчиваться, именно ветераны выступали, предлагали пути улучшения той или иной ситуации.

Михаил Иванович Рязанов – профессор кафедры теоретической ядерной физики. Работает в МИФИ с 1951 года, 15 лет был ее заведующим. Ветеран Великой Отечественной войны. В МИФИ, особенно на факультете «Г», пользуется большим уважением и как ученый, и как преподаватель, и как человек. Общаюсь с Михаилом Ивановичем, сотрудники редакции видели, что он болеет душой за МИФИ и очень хочет, чтобы больше молодых приходило в науку.

Михаил Иванович всегда смущается, когда ему оказывают знаки внимания как участнику войны.

– Я ведь служил в армии совсем немного, – говорит он. – По возрасту меня призвали только в 1944 году. Командовал взводом саперов, занимался разминированием. Ничего особенного я не хлебнул в сравнении с такими ветеранами, которые чуть не всю войну прошли. Вот как, например, Татевос Мамиконович Агаханян.

– Но Вы совсем молодым возглавляли отряд опытных саперов. Разминирование – очень опасная работа. Недаром говорят: «Сапер ошибается только один раз».

– Михаил Иванович, нам интересно Ваше мнение по учебному процессу, по развитию университета. Знаем, что Вас это волнует.

– Подготовка школьников стала гораздо слабее. Это всем заметно. У выпускников школ меньше знаний и меньше интереса к науке. А у преподавателей сложились традиционные методы обучения, которые прекрасны для более подготовленных студентов, но трудны для теперешних. И есть преподаватели, которые считают: «Я читаю лекции как всегда, а они не понимают. Я не виноват». На самом деле мы здесь работаем для того, чтобы готовить хороших специалистов из тех ребят, какие есть. Один из основателей нашей кафедры, академик И.Я. Померанчук, на лекции в ответ на вопросы студентов о слабых и сильных потоках сказал: *«Нет студентов плохих и хороших. Есть студенты, которым надо более подробно рассказывать, и есть такие студенты, которым можно менее подробно объяснять»*. Дело в том, что учатся не для того, чтобы запомнить какой-то объем сведений, а чтобы понимать, как все происходит. А понимание можно получить, рассказывая на простых примерах и на сложных. И вот это зависит и от уровня знаний студентов, и от преподавателя. Чтобы лекции были понятны всем студентам, лекторам надо знать уровень их знаний. Сейчас каждый лектор как-то оценивает это сам. Но хорошо бы, чтобы существовал какой-то независимый источник получения информации о том, понимают студенты лектора или нет, соответствует ли уровень преподавания уровню студента.

– А на факультетах можно это сделать?

– На самом деле это возможно, если все возьмется за решение проблемы. Может быть, на факультетских Советах полезно было бы заслушать кафедры о том, как они выясняют соответствие уровня чтения лекций уровню студентов. Хорошо, если ведущие лекторы поделятся опытом: как они определяют уровень понима-

ния студентов, как стараются вносить изменения, чтобы лекции были понятнее ребятам.

– Раньше конкурс был десять человек на место, а сейчас совсем небольшой. Вы видите у сегодняшних студентов интерес к учебе?

– Очевидно, что не всех ребят, которые пишут заявление в институт, мамы и папы заставляют. Значит, какой-то интерес у них вначале есть. Но этот интерес часто на первых курсах у них быстро исчезает. Для сравнения – у студентов других вузов, приехавших на третий курс спецфака, не у всех интерес к учебе пропадает, хотя уровень образования у них не выше, чем у наших. Я преподаю и на этом факультете и вижу, что многих ребят в отличие от «коренных» мифистов переполняют еще всевозможные идеи.

– В конце 80-х в течение двух лет проводилась, в виде эксперимента, аттестация преподавателей студентами. Стоит ли, на Ваш взгляд, учитывать мнение студентов по качеству преподавания?

– Мнение студентов, безусловно, важно и учитывать его надо. Но каких студентов? Если тех, кто хочет учиться и учится хорошо, то да.

– Ваша кафедра исторически всегда считалась самой умной: «Там же теоретики». Вы ее долго возглавляли.

– Я возглавлял ее в общей сложности 15 лет. Кафедра позиции в плане обучения не сдает. У нас преподаватели очень высокой квалификации. Большое внимание уделяется работе со студентами, взаимодействию с выпускниками. Некоторое время я работал по обмену в университете Питтсбурга в США и в Лондонском университете. И могу сказать, что, по моему мнению, подготовка на нашей кафедре теоретической ядерной физики – на уровне самых высоких мировых стандартов.

Но сейчас странная ситуация с бакалавриатом. Мы должны готовить бакалавров, а некоторые родители детей не пускают: вдруг после окончания бакалавриата магистратура станет плат-

ной. За рубежом успех системы бакалавр-магистр основан на том, что в подготовке магистров в университетах участвуют фирмы, которые берут этих выпускников к себе на работу. У нас же ничего такого нет, никакие фирмы не участвуют в подготовке для себя магистров. Создается впечатление, что все эти новшества не очень хорошо продуманы и возможно их усовершенствование: например, в том же ЕГЭ уже отказались от справочных ответов.

– Что бы Вы пожелали нашему университету?

– Чтобы развивался как учебно-научный центр.

– Сейчас НИЯУ МИФИ представляется уже как, своего рода, маленькое министерство.

– Да, явно уже, что наш МИФИ стал почти небольшим министерством. Ведь под нами 15 вузов. В университете создано большое количество новых управлений, структур. И люди, работающие у нас много лет, этому удивляются. Тем более, что в новых управлениях сотрудники ведут себя, как в обычных офисах, не всегда понимая, что такое МИФИ. Это сложная ситуация.

– Возвращаясь к учебному процессу. Есть на кафедре способные, интересные ребята?

– Есть. Но все показывает УИР. Почему у нас всегда на кафедре была хорошая подготовка? Потому что рано начиналась УИР. К студентам старались прикреплять хороших руководителей. И вот в процессе учебно-исследовательской работы студент проявлял и свои способности, и деловые качества.

– Стоит ли сейчас ребятам заниматься теоретической физикой?

– Конечно, стоит! Для этого им надо вспомнить, сколько и каких людей занимались ею. Ознакомиться с их биографиями, например, Ферми, Зельдовича, Ландау, Тамма, Фейнмана и многих других физиков-теоретиков.

– Слышали не раз мнение ребят, что, к сожалению, практически нет внеучебного общения с учеными. Раньше какие-то интересные семинары были, можно было зайти послушать.

– Учитывая, что школа дает теперь все меньше знаний о физике, думаю, каждой профилирующей кафедре необходимо на младших курсах выделить пару часов в неделю для того, чтобы ведущие ученые рассказывали по очереди о состоянии дел в их научных направлениях, о последних достижениях и о направлении будущих работ.

– Ваше пожелание молодежи.

– Желая студентам активнее интересоваться наукой. Ведь для того, чтобы стать серьезными специалистами, у них, на самом деле, есть всего несколько лет. А от того, как они сами себя готовят, зависит вся их дальнейшая жизнь.

Занятия наукой – очень интересное дело. Каждый день вы что-то обдумываете, постигаете, открываете для себя. Увлекательная жизнь зависит, между прочим, не только от денег. Вот когда у тебя получается, когда видишь плод своего труда и начинаешь себя за это уважать – это приятная сторона жизни.

«Инженер-физик», май 2011 г.

Коллеги, друзья, ученики о профессоре М.И.Рязанове

*Михаил Николаевич Стриханов,
доктор физ.-мат. наук, профессор, ректор НИЯУ МИФИ,
лауреат премий Правительства Российской Федерации*

Что я могу сказать о нашем дорогом Михаиле Ивановиче? Это, конечно, человек, который оказал огромное влияние на судьбы многих поколений мифистов, воспитал огромное количество ученых, кандидатов наук, докторов наук. Среди них есть и академики, и члены-корреспонденты, и люди, которые успешны в различных областях деятельности.

Я вспоминаю события примерно сорокалетней давности, начало 70-х годов, когда Михаил Иванович осуществлял конкурсный набор на 32-ю кафедру теоретической ядерной физики, а мы, студенты 3 курса, сдавали конкурсные испытания и проходили собеседование, чтобы попасть на кафедру ТЯФ. И конечно, для нас он казался небожителем, который там, где-то наверху, высоко на небесах, правит судьбами теоретической ядерной физики.

То состояние кафедры, которое было тогда, и есть сейчас – это высочайшая планка образования российского и международного. В период своего наивысшего расцвета кафедра была одной из лучших в мире, тут сомнений быть не может. Все годы существования МИФИ и сегодня эта кафедра – одна из лучших в университете. Кафедра, которая, собственно, и определяет высокую планку мифического образования с одной стороны, а с другой стороны – это тот огонь, который питает энергией, позволяющей успешно решать задачи, стоящие перед нами.

Всегда основным принципом работы кафедры было, прежде всего, занятие наукой и может быть, во вторую очередь – преподавание. Плохо это или хорошо для всего университета, я сказать не берусь, наверное, все-таки образование – это главное для университета, а для такой выдающейся кафедры научная работа на первом месте. Высокое качество публикаций в лучших советских, российских и международных журналах – это просто был непрменный атрибут деятельности любого преподавателя. Я знаю, насколько трудно было устроиться во все времена преподавате-

лем на эту кафедру. Огромное количество ученых желало там работать. На кафедре преподавали выдающиеся люди. Профессионализм преподавателей этой кафедры высочайший.

Что еще запомнилось в Михаиле Ивановиче? Его отношение к науке, к преподаванию, к студентам, к родному МИФИ. Он – глубочайший патриот Советского Союза и России, в этом сомнений нет, потому что он это доказал. Еще совсем юношей участвовал в Великой Отечественной войне. То, что он патриот МИФИ, он доказал работой на разных должностях, участием в общественной деятельности института.

Заведующих кафедрой теоретической ядерной физики было небольшое количество, и Михаил Иванович – один из них. Он возглавлял кафедру в очень непростое время. И, конечно, годы идут, мы становимся все более опытными, но Михаил Иванович при этом не меняется. Немножко стало меньше волос, немножко стал тише голос, но тот же самый неугасимый огонь в глазах. Михаил Иванович верен своим жизненным принципам – тот же самый отказ от вина, только вода, и тот же отказ участвовать в любых праздниках. Все посвящено делу, науке.

В свое время, когда мы были совсем молодыми людьми, он нас учил: ребята, не теряйте времени, садитесь и пишете статьи – потом будет некогда. И глубину этих слов я на своей шкуре почувствовал очень четко. С удовольствием бы вернулся в то время.

Михаил Иванович – человек, исключительно ответственно относящийся к преподаванию. Все мы, кто слушали его лекции, ходили на занятия, много получили и в практической деятельности, и в идеологическом плане. Михаил Иванович правильно понимает процесс преподавания не только как обучение, но и воспитание ученых, будущих граждан нашей великой страны.

Хочется пожелать, чтобы феномен Рязанова Михаила Ивановича еще долго нас радовал. От всей души желаю ему здоровья. Я считаю Михаила Ивановича своим непосредственным учителем, причем учителем не только в научной сфере, но и в отношении к жизни. У него много учеников, которые передают искру науки другим поколениям студентов и аспирантов, искру высокого служения истине.

*Николай Борисович Нарожный, профессор,
зав. кафедрой теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ*

Михаил Иванович Рязанов является знаковой фигурой как на кафедре теоретической ядерной физики, так и для меня лично. Он пришел на кафедру в первые годы после того, как она была создана, и работает здесь всю жизнь. Михаил Иванович – выдающийся ученый, у него огромное количество учеников, которые сейчас работают в НИЯУ МИФИ и других институтах нашей страны и далеко за ее пределами. Все они – известные ученые, так что можно считать, что он является создателем целой научной школы.

Что касается моих впечатлений о Михаиле Ивановиче, моих воспоминаний, то он был первым физиком-теоретиком, которого я встретил, учась на третьем курсе. Михаил Иванович читал нам лекции по механике и теории поля, которые существенно повлияли на мое решение поступить в теоретическую группу и посвятить свою жизнь теоретической физике. Именно Михаил Иванович рекомендовал меня в группу теоретиков. Должен сказать, что когда мне было предложено стать заведующим кафедрой, то первым, к кому я пошел посоветоваться, был Михаил Иванович. Тогда я был достаточно молодым человеком, и для меня это было неожиданно, я сильно сомневался. Так вот, Михаил Иванович укрепил меня в мысли, что надо идти и занимать эту должность. Так что он, в некотором смысле, является моим «крестным отцом» как заведующего кафедрой Теоретической ядерной физики.

Уже 30 лет, как я веду кафедру. И все эти годы наблюдаю, как активно, с интересом и энтузиазмом Михаил Иванович занимается наукой, продолжает публиковать свои статьи в высокорейтинговых журналах, участвовать в конференциях. Тем самым Михаил Иванович подает пример многим молодым людям, которые, к сожалению, в наше время относятся к науке не так, как относились создатели кафедры и те, кто работал в прошлые годы. Поэтому могу только пожелать Михаилу Ивановичу Рязанову дальнейших успехов в его творческой жизни, здоровья и чтобы он радовал нас всех своей неиссякаемой энергией.

*Михаил Генрихович Урин,
доктор физ.-мат.наук,
один из старейших профессоров НИЯУ МИФИ*

Когда знаешь человека много лет, о нем складывается в профессиональном отношении вполне определенная картина: о его характере, образе мышления, работе и т.д. Михаил Иванович Рязанов, бесспорно, цельный человек, и о некоторых его чертах я могу с удовольствием рассказать. Это человек, всецело преданный науке, и, начиная с молодых лет, ею интенсивно занимавшийся. При этом занятие наукой в вузе – вещь не совсем тривиальная. В вузе ученому приходится делить время между преподаванием и наукой, и в этом смысле такой ученый всегда проигрывает своим коллегам из академических институтов.

Но с течением времени, эти «потери» возмещаются очень существенно, а именно – возможностью работать с дипломниками, аспирантами, с молодыми преподавателями кафедры, и тогда количество рук умножается, а интенсивность работы существенно возрастает. Вот это целиком относится к Михаилу Ивановичу, который об этом говорил, и не только говорил, а, во-первых, показывал пример, во-вторых, поощрял своих сотрудников делать то же самое. Именно в вузе преподавателю совершенно необходимо заниматься научной работой, качество преподавания от этого неизмеримо возрастает, потому что студенты чувствуют, что с ними работает творческий человек.

Михаил Иванович в этом смысле – блестящий пример. У него множество учеников, я не буду их перечислять, кандидаты и доктора наук. И будучи довольно долго заведующим кафедрой, он не только действовал личным примером, но и как администратор стремился поощрять других преподавателей заниматься наукой, что на самом деле было заложено отцами-основателями того МИФИ, который задумывался когда-то как вариант американского университета, где преподавание и наука идут параллельно друг другу. И вот это очень важно.

Что касается меня, Михаил Иванович мои личные занятия поощрял не только словесно, но и практически – позволял мне ра-

ботать с наиболее сильными студентами, создавал условия, чтобы эти студенты оставались в аспирантуре, и у меня было большое количество ярких, с моей точки зрения, своих аспирантов, занятия с которыми позволили мне позже написать книгу¹. Кстати, написание этой книги было целиком стимулировано Михаилом Ивановичем, я совершенно не планировал этого делать. Он говорил: «Как, у тебя столько работ, ты столько написал, – почему же не написать книгу на эту тему?». И вот, поразмыслив некоторое время, я это осуществил, и это был тяжелый труд, который можно было выполнить только вместе с учениками.

Я ему бесконечно благодарен за это, и, хотя книга вышла более двадцати лет назад, сейчас мне не стыдно за нее. За это время наука ушла далеко вперед – конечно, это была фиксация какого-то определенного времени, но дальнейшее развитие не отменило того, что было сделано тогда, а сейчас новый уровень. Так что резюмируя, могу сказать, что Михаил Иванович очень достойный сотрудник именно МИФИ – того продвинутого вуза, в котором наука и преподавание идут рядом.

Что касается его человеческих качеств, то, конечно, в первую очередь, Михаил Иванович представляет собой пример хорошего семьянина, бесконечно нежно относящегося к своей жене, семье и очень ответственного, и это важно, тем более что ему в жизни пришлось перенести много семейных трудностей, проблем, которые могли бы сломать менее стойких людей. Он очень достойно вышел из всех этих переживаний. А, кроме того, в общении Михаил Иванович очень приятен, любит шутить. В молодые годы мы вместе ходили в походы на озеро Селигер и до сих пор не можем этого забыть, потому что было много шуток, юмора, приятных приключений, и это было летом, и мы были молодые, но об этом нужно рассказывать отдельно.

Так что Михаил Иванович, бесспорно, очень достойный член нашей кафедры и хороший пример для следующих поколений.

¹ Урин М.Г. Релаксация ядерных возбуждений / М.Г. Урин – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 205 с.

А на вопрос профессора В.М. Дубовика о том, какие черты позволяют Михаилу Ивановичу так долго и интенсивно заниматься наукой, Михаил Генрихович отвечает: «Это самоподдерживающийся процесс. Если человек увлечен наукой – это ему продлевает жизнь: он любит науку, и эта любовь к нему возвращается и продлевает жизнь, как мне кажется.

Мне приятно говорить о Михаиле Ивановиче, поскольку мы с ним, я позволю себе сказать, дружим довольно давно».

Юрий Александрович Вдовин,
*доктор физ.-мат.наук, один из старейших профессоров
кафедры теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ,*
(Из беседы с профессором В.М. Дубовиком)

– Юрий Александрович, насколько я понимаю, Вы знаете Михаила Ивановича этак лет 60 – достаточно много. Вы с ним работали и при Л.Г. Левиче, и при В.М. Галицком, и когда сам Михаил Иванович был заведующим. Не могли бы Вы сказать несколько слов о нем как о коллеге и заведующем, а может быть, и в более широком плане?

– Ну, конечно, с Михаилом Ивановичем мы знакомы очень давно, с того момента, как я окончил наш институт и был оставлен на кафедре в качестве ассистента и одновременно поступил в аспирантуру – это был 1952 год. Получается, что я знаю Михаила Ивановича более 60 лет! Безусловно, много всего было за это время. Были и совместные турпоходы, на Кавказ в том числе. Было общение семьями, и конечно, было много совместной работы на кафедре.

Я могу сказать, что всевозможным вопросам кафедральной жизни, в которых я участвовал, прежде всего, учебной работе на кафедре Михаил Иванович уделял достаточно много внимания. Несомненно, на плечах Михаила Ивановича лежала большая работа по отбору материала, оптимизация курсов, которые читались на кафедре. Но на первом месте у него, безусловно, стояла научная работа. Здесь приоритеты были совершенно четкие, и когда Михаил Иванович был заведующим кафедры, и когда был просто профессором кафедры. И в работе со своими учениками наука – прежде всего.

Здесь он был совершенно последователен. Насколько я могу судить, Михаил Иванович очень много времени уделял своим ученикам. Многие из них стали известными учеными.

Вот такие мои самые общие впечатления.

– Юрий Александрович, а могли бы Вы выделить его основные отличительные качества как научного работника, как коллеги, как заведующего кафедрой?

– Определенная научная дотошность. Если вопрос поставлен, Михаил Иванович не успокоится, не уйдет в тень, не постарается обойти вопрос, а будет настойчив, пока не наступит полная и четкая ясность. Это, несомненно, отличительное качество Михаила Ивановича. Ну и, конечно, дисциплина, самодисциплина, научная дисциплина. В этом плане он ни себе, ни своим ученикам, не давал никаких послаблений.

– Спасибо Вам большое, Юрий Александрович, за рассказ о Михаиле Ивановиче.

– Спасибо Вам, рад был поделиться самыми основными моими впечатлениями о Михаиле Ивановиче Рязанове.

Вадим Давыдович Мур,
*доктор физ.-мат.наук, профессор кафедры
теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ*

Воспоминания о Нор-Амберде

Впервые я встретился с Михаилом Ивановичем Рязановым (далее – М.И.) весной 1960 года. В то время он был секретарем теоретической секции традиционной Научной сессии МИФИ. Хотя с тех пор прошло более полувека, но наиболее яркое впечатление о встрече с М.И. в неформальной обстановке – поездка через год, весной 1961 года, на Школу теоретической физики в Нор-Амберд, под Ереваном.

Виктору Михайловичу Галицкому удалось на одну вакансию послать (на паритетных началах) двоих: меня – аспиранта И.Я. Померанчука, и Витю Ходеля – дипломника А.Б. Мигдала. Летели мы в Армению на допотопном ЛИ-2, скопированном с американского бомбардировщика. При взгляде в иллюминатор становилось жутковато: клёпанные - переклёпанные крылья непрерывно вибрировали, и казалось, что они вот-вот отвалятся. Но все страхи компенсировались великолепным видом на Казбек и Эльбрус, когда мы подлетели к Кавказскому хребту, а потом как бы зависли между вершинами безымянных гор.

После благополучного приземления нас привезли в самую престижную гостиницу Армении «Ереван», в которой на всех были забронированы номера. Поскольку делегация была маленькая, то при регистрации образовалась довольно большая очередь. Чтобы её переждать, М.И. предложил мне сходить в библиотеку ФИАНа Армянской ССР и посмотреть последние литературные поступления. Это «научное пижонство» стоило нам довольно дорого, в самом прямом смысле: когда мы вернулись в гостиницу, очередь уже растворилась, но все дешёвые номера, по словам администратора, были разобраны. Нам с М.И. ничего не оставалось, как согласиться на дорогой трехкомнатный номер-люкс. Войдя в номер, я несколько опешил, оказавшись в роскошно обставленной гостиной с высоким потолком и бархатными

гардинами на окнах, выходящих на центральную площадь Еревана.

Михаил Иванович повел меня к конторке администратора. Половину дня мы провели в бесплодных попытках получить более скромный номер. Однако, по уверению администрации, среди подобных номеров не было свободных. К счастью, и все роскошные номера, вроде нашего, также были заняты. Нас выручил солидного вида огромный дородный кавказец, который безапелляционно потребовал предоставить ему самый лучший номер. Естественно, сразу же нашелся устраивающий нас скромный номер, а роскошные апартаменты достались приезжему господину.

На следующий день вместе с коллегами поехали за 60 км от Еревана на космическую станцию – филиал ФИАНа. Основная база располагалась на высоте 2400 м, у подножья самой высокой в Армении горы Алагёз (4090 м). Как известно, Арарат – 5165 м, находится на сопредельной турецкой территории, хотя изображен на государственном гербе Армении.

В работе Школы принимали участие несколько поколений научных работников. Среди «аксакалов» были А.Б. Мигдал, В.Б. Берестецкий, Б. М. Понтекорво. Кроме них в работе Школы участвовали Б.В. Гешкенбейн, И.И. Гольдман, В.Н. Грибов, И.Ю. Кобзарев, Ю.Ф. Орлов, а из «молодых» – И.М. Дрёмин, А.М. Переломов, В.С. Попов. И.С. Цукерман и другие. В качестве «культурной программы» руководство организовало экскурсию в Эчмиадзин – резиденцию Католикоса всех армян, и Матенадаран – хранилище древних рукописей.

После недельного пребывания на Нижней станции, Школа переместилась на Верхнюю – на высоту 3200 м. В качестве транспортных средств использовались армейский бронетранспортёр и мощный гусеничный трактор. Надо сказать, что, хотя к трактору была прицеплена тележка с запасом продовольствия – живыми курами, он поднимался по склону по геодезической трассе. В то же время, бронетранспортёр двигался по широким дугам, поскольку подниматься по склону напрямую ему не хватало мощности.

Для тех, кто рискнул во время довольно длительного подъема насладиться горным солнцем, это решение окончилось плачевно. Так, например, И.С. Цукерман отделался сравнительно легко: его лицо приобрело цвет вареного рака, и чем он лечил ожоги, мне не известно.

Не могу не упомянуть об одном событии, которое, я думаю, навсегда останется в памяти всех участников Школы. На третий день пребывания на Верхней станции, 12 апреля 1961 года примерно в 11 часов спокойное течение утренней лекции внезапно было нарушено. По громкой связи раздался гимн СССР, после чего прозвучало Правительственное сообщение об успешном завершении полета первого в Мире космонавта – Юрия Гагарина.

По вечерам, в свободное от занятий время, многие собирались в гостиной, середину которой занимал большой бильярдный стол. В те времена бильярд в нашей стране как вид спорта был запрещён, и хорошие столы, которые, как правило, сохранились лишь в санаториях и госучреждениях, были редкостью. Одним из таких исключений был стол на Верхней станции: прекрасное сукно, костяные, а не пластмассовые шары и неплохие кии с двухслойной наклейкой. Судя по всему, этим чудом заправлял профессионал, поскольку поднять огромный стол на высоту 3200 м целиком не представлялось возможным, а собрать его на месте мог только мастер.

Так как желающих поиграть было много, то все разбивались на пары, и игра шла два на два. И вот, однажды вечером моим партнером был М.И., а нам противостояли Ю.Ф. Орлов с напарником. Практически перед каждым ударом Юрий Фёдорович что-то бормотал. Не утерпев, я полюбопытствовал, в чем состоит содержание заговора. На что Юрий Федорович, усмехаясь, ответил, что это заговор, но не заговор.

В то время я не имел никакого понятия, кто такой Юрий Федорович, и не смог оценить шутку, но ответ мне почему-то запомнился. И только спустя несколько лет, когда мне стала известна судьба Юрия Федоровича, я понял, почему он улыбался.

Возвращаясь к игре, скажу только, что я тогда достаточно поднатерел в тонкостях этой прекрасной игры. Я довольно сносно владел верхними (с накатом) и нижними (с оттяжкой) ударами, правым и левым эффе (винтами). Но такой удар, который продемонстрировал Михаил Иванович, я не видел ни до, ни после этой игры.

Игра уже подходила к концу, когда у угловой лузы образовалась «подставка». На длинном борту стояли два шара: один поблизости от лузы, а другой – на довольно большом расстоянии. Очередной удар принадлежал М.И. Ясно, что реализовать «подставку» ближайшим шаром было невозможно, поскольку «подставленный» шар находился на некотором расстоянии от лузы, а не свесил «ножки». Ближайший шар мешал стандартному способу положить «подставку» в лузу дальним шаром. В этот момент М.И. продемонстрировал трюк, который до сих пор стоит у меня перед глазами.

Так как «свой» шар стоял на борту, то надо было направлять кий довольно круто, то есть под большим углом к поверхности стола. Кроме того, нужно было бить не в плоскости вертикального диаметра шара, а с «винтом». Технически чрезвычайно сложный удар. Однако М.И. он удался: в соответствии с теоремой И.А. Эйлера, сына великого Леонарда Эйлера, «свой» шар, вращаясь, очертил дугу и с «треском» вогнал подставленный шар в лузу. По слухам, такие удары «по заказу» выполнял петербургский маркёр Лёвка. На вопрос – этот победный удар удался случайно или это результат регулярных тренировок – М.И. никогда не отвечает серьёзно.

Подшло время последовать категорическому императиву М.И.: «Genug трепаться». Однако, согласно другому принципу М.И., «не надо комкать», я в заключение могу только сказать, что при встречах со мной Михаил Иванович частенько повторяет: «Как хорошо было в Нор-Амберде!» и при этом воспоминании у него по-молодому загораются глаза.

*Николай Павлович Калашиников,
доктор физ.-мат. наук, профессор,
заведующий кафедрой общей физики НИЯУ МИФИ*

Об Учителе

Я познакомился с Михаилом Ивановичем 55 лет назад, в сентябре 1958 г., когда он читал у нас на потоке первый раздел теоретической физики – механику. Его лекции существенно отличались стройностью и последовательностью изложения. По окончании V семестра студентам МИФИ после прохождения собеседования предоставлялась возможность перейти в группу теоретиков. На собеседование я попал к Михаилу Ивановичу Рязанову.

Сейчас уже трудно вспомнить все вопросы, которые задавал мне Михаил Иванович, но один запомнился: «Как Вы думаете, почему блестят ботинки, если их почистить щеткой?». Я начал рассказывать о различиях диффузного и зеркального рассеяния в зависимости от соотношения длины волны света и величины шероховатостей на поверхности «штиблетины». Михаил Иванович рекомендовал меня для зачисления в группу теоретиков. Так я стал его учеником.

Запомнился случай в начале 70-х годов. Михаил Иванович решил приобрести автомобиль. Тогда существовал единственный магазин «Автомобили» на Бакунинской улице, который находился довольно далеко от улицы Москворечье, где он жил. Михаил Иванович попросил меня после покупки перегнать автомобиль от магазина к своему дому. До этого я никогда не ездил на автомобиле марки «Запорожец». Через некоторое время в «Литературной газете» на последней странице, под рубрикой «Юмор наших друзей», появился болгарский анекдот из Габрово: «...своим поведением он унижал человеческое достоинство: он управлял «Запорожцем». Я показал «Литературную газету» Михаилу Ивановичу. После этого ему пришлось купить «Волгу-24».

После защиты диплома Учитель взял меня в аспирантуру, и началась моя научная жизнь.

Михаил Иванович, по-моему, работал круглосуточно. Довольно часто, в субботу вечером, он формулировал новую задачу, решение которой просил подготовить к утру понедельника. Такой ритм работы позволил мне за два года подготовить кандидатскую диссертацию, защищать которую пришлось только через год, так как по рекомендации Учителя меня послали на стажировку в Болонский университет к профессору Бруно Ферретти.

О поездке в Италию следует сказать особо. Сначала, исходя из тематики моей научной работы «Когерентные электромагнитные процессы в периодических структурах», предполагалась стажировка в Стенфордском университете США. В Минвузе, по причине моей беспартийности, было предложено рассматривать университеты Дании и Италии. Мы обсудили работы датских и итальянских физиков, и Учитель посоветовал выбрать университет в Италии. После защиты кандидатской диссертации Михаил Иванович рекомендовал меня для работы в Итальянском Национальном комитете по ядерной энергии.

Научная работа под руководством М.И. Рязанова позволила относительно быстро подготовить и защитить докторскую диссертацию. В этот период Михаил Иванович был сторонником принципа: «слив только сверху», в результате чего отправил меня заведовать кафедрой физики («учебного телевидения»), и научные контакты несколько ослабли, хотя я всегда с удовольствием выступал в роли оппонента на защитах его учеников и учеников его учеников.

Владислав Михайлович Дубовик,
профессор кафедры общей физики НИЯУ МИФИ

Известно, что в тандеме более опытный считается ведущим. После некоторого размышления я решил написать несколько слов о своем ведущем. Жизнь сложилась так, что в последние годы мне посчастливилось заниматься наукой вместе с Михаилом Ивановичем Рязановым (в дальнейшем – М.И.). Он внес значительный вклад в теоретическую физику, что выражается уже в том, что такие признанные во всем мире авторитеты, как академики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, ссылаются в своем учебнике на его работы.

Быстро выяснилось, что темп работы М.И. высок. Выяснилось также и другое: его неизменное чувство такта. Однако, еще примечательнее – его постоянная заряженность на работу и склонность к иронии. Если пауза в работе превышает ему одному известную величину, он звонит с вопросом «Где Вы потерялись?». Его шутивное «Жизнь прекрасна и удивительна, но более удивительна, чем прекрасна» было вскоре перефразировано в «Жизнь потому прекрасна и удивительна, что более удивительна, чем прекрасна». Или: «Разве Вы не знаете, что жизнь – это сплошная цепь недоразумений?»

По классификации всех научных работников на «генераторов, вычислителей и систематизаторов», принятой М.И., он, в первую очередь – генератор, а я – больше вычислитель, так что мы дополняем друг друга, и мне интересно с ним работать. Время от времени я «заряжаюсь» от М.И. и, определенно, подкорректировал свое отношение к происходящему вокруг в сторону веселой неотвратимости и неизбежности.

Можно было бы выстроить в длинный ряд его не лишённые иронии, а порой и некоторой доли сарказма обращения, вроде «Как жизнь молодая?», «Какое замечательное общество!», «Будет Вам и кофе, будет и какао» и тому подобное... Но зачем? Кому-то это может показаться утомительным. А справедливо ли? В его «хорошие», в смысле возраста, годы иные любят вводные слова, вроде «в наше время...» или «вот раньше...». В этом смысле,

М.И. – удивительно легкий человек, без всяких поучений. М.И. – ярый противник празднословия, и подчас останавливает меня, если я считаю нужным выразить ему свою признательность. Нельзя не отметить его замечательные черты, например: сразу переходить к делу; готовность в любое время дня обсуждать возникающие вопросы. Если «мяч на его стороне», то, будьте уверены, что через непродолжительное время он будет уже «на вашей стороне».

Наше очередное обсуждение решаемой в данный момент задачи обычно заканчивается его многозначным «Разрешите пожелать Вам дальнейших успехов в Вашей благородной деятельности». Нередко у меня вырывается: «Благородной, но не всегда благодарной», – после чего я вижу в глазах М.И. немой вопрос. Если же сменить интонацию, или, если хотите, угол зрения, то я благодарен М.И. за то, что он уже не год и не два работает со мной. Это, безусловно, плодотворное сотрудничество, в частности, помогло мне защитить в свое время докторскую диссертацию.

Совершенно неожиданно я узнал о том, что внешность М.И. обманчива. При кажущейся сдержанности он «впечатлителен»: he is a true fan of impressionism. Я имею в виду его увлечение Сезанном. Истинно, Михаил Иванович бесконечен.

Избранные статьи из научных журналов

Журнал экспериментальной и теоретической физики

Т. 48

1965

Вып. 5

КОМБИНАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩЕГОСЯ ЗАРЯДА

М. И. Рязанов

Показано, что взаимодействие собственного поля равномерно движущегося заряда с возбужденными атомами вещества приводит к возникновению излучения с частотой, отличающейся от энергии возбуждения атома. Интенсивность излучения связана со скоростью частицы, углом вылета кванта и энергией возбуждения атомов таким образом, что при наличии в веществе атомов с одним возбужденным состоянием возможно измерение энергии частицы по углу вылета кванта.

1. Введение

Для того чтобы при равномерном движении заряда в веществе возникло излучение, необходимо, чтобы собственное поле заряда могло при взаимодействии с веществом трансформироваться в поперечные электромагнитные волны. Рассмотрим случай, когда излучение Вавилова — Черенкова отсутствует. Тогда излучение может возникнуть из-за рассеяния собственного поля заряда на пространственных неоднородностях вещества. Свойства такого излучения ранее исследовались многими авторами [1]. В [2] было указано на существование другого механизма излучения, связанного с комбинационным рассеянием собственного поля заряда в веществе. Для возникновения такого излучения (которое естественно назвать комбинационным излучением) необходимо выполнение определенных соотношений.

Существенно указать на то обстоятельство, что наиболее интересной оказывается возможность комбинационного излучения в строго однородной среде (без передачи импульса веществу). Эта возможность связана с некоторым своеобразием комбинационного рассеяния собственного поля заряда. Действительно, при комбинационном рассеянии поперечных волн изменение энергии фотона влечет за собой изменение его импульса (закон сохранения допускают такой процесс только с передачей импульса веществу), так что комбинационное рассеяние поперечных волн существенно связано с наличием в веществе неоднородностей.

Если рассматривается фурье-компонента собственного поля,

$$E_0(\mathbf{r}, t) = \int d^3q E_0(\mathbf{q}) \exp[i\mathbf{q}(\mathbf{r} - \mathbf{v}t)], \quad E_0(\mathbf{q}) = \frac{ie}{2\pi^2\epsilon_0} \frac{\mathbf{v}(\mathbf{q}\mathbf{v})\epsilon_0 - \mathbf{q}}{q^2 - (\mathbf{q}\mathbf{v})^2\epsilon_0}, \quad (1.1)$$

то положение меняется, потому что связь импульса фурье-компоненты \mathbf{q} с энергией $\mathbf{q}\mathbf{v}$ менее жесткая, чем для поперечных волн. В частности, можно найти такой угол между \mathbf{q} и \mathbf{v} , при котором комбинационное рассеяние происходит вообще без передачи импульса веществу. Такой вариант процесса выделен из всех остальных тем обстоятельством, что он может происходить в строго однородном веществе, т. е. не связан с наличием в веществе неоднородностей. Поэтому комбинационное излучение такого типа более вероятно, чем излучение с передачей импульса.

Из рассмотрения комбинационного рассеяния собственного поля следует, что излучение без передачи импульса веществу возможно, если угол вылета кванта ϑ удовлетворяет условию [2].

$$\cos \vartheta = \frac{1}{v \sqrt{\epsilon_0}} \left(1 - \frac{\Delta\omega}{\omega} \right), \quad (1.2)$$

где $\Delta\omega$ — энергия, переданная веществом кванту при рассеянии. Из требования $\cos^2 \vartheta \leq 1$ следует условие существования излучения

$$v^2 \epsilon_0 \geq \left(1 - \frac{\Delta\omega}{\omega} \right)^2. \quad (1.3)$$

Если излучение Вавилова — Черенкова отсутствует, т. е. $v^2 \epsilon_0 < 1$, то комбинационное излучение возможно лишь при $\Delta\omega > 0$. Из (1.2) следует также, что спектр излучаемых частот имеет вид

$$\omega = \frac{\Delta\omega}{1 - v \sqrt{\epsilon_0} \cos \vartheta}, \quad (1.4)$$

так что вблизи порога излучения Вавилова — Черенкова могут излучаться и большие частоты. Очевидно, что представляет интерес излучение частот, далеких от собственных частот среды, так как в противном случае излучение заряда будет невозможно различить на фоне спонтанного излучения вещества. Рассмотрение ограничено предположением, что излучение представляет быстрый процесс по сравнению со взаимодействием соседних атомов (молекул), так что тепловое движение не влияет на излучение. Очевидно, что это условие выполняется, если частота излучения ω и характерное для релаксационных процессов время τ удовлетворяют неравенству $\omega\tau \gg 1$.

2. Поляризация возбужденного вещества электромагнитным полем

Рассмотрим, какие особенности возникают при поляризации содержащего возбужденные атомы вещества электромагнитным полем

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \int d\omega \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) e^{-i\omega t}.$$

При этом будем предполагать известной диэлектрическую проницаемость невозбужденного вещества $\epsilon_0(\omega)$. Пусть до включения поля волновая функция отдельного атома (молекулы) явилась суперпозицией стационарных состояний

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \sum_n a_n \Psi_n^0(\mathbf{r}, t),$$

где коэффициенты разложения a_n можно считать или не зависящими от времени или достаточно медленными функциями времени. Это предполагает медленность всех релаксационных процессов по сравнению с рассматриваемым процессом излучения.

Включение поля приводит к изменению волновой функции на малую величину

$$\Phi(\mathbf{r}, t) = \sum_n c_n(t) \Psi_n^0(\mathbf{r}, t),$$

в которой коэффициенты разложения меняются во времени гораздо быстрее, чем a_n . Записывая гамильтониан взаимодействия с длинноволновым

полем в виде $-\mathbf{D}\mathbf{E}$, где \mathbf{D} — оператор дипольного момента, из уравнения Шредингера в линейном по полю приближении нетрудно получить

$$c_m(\mathbf{R}, t) = \sum_s a_s \int \frac{d\omega}{\omega_{ms} - \omega - i0} \mathbf{D}_{ms}\mathbf{E}(\mathbf{R}, \omega) \exp[i(\omega_{ms} - \omega)t], \quad (2.1)$$

считая, что включение поля произошло при $t \rightarrow -\infty$. Коэффициенты разложения c_m , вообще говоря, различны для каждого атома, что и учитывается зависимостью c_m от координаты центра инерции атома \mathbf{R} . Индуцируемый полем в отдельном атоме дипольный момент имеет вид

$$\sum_{n, m} a_n^* c_m(\mathbf{R}, t) \mathbf{D}_{nm} \exp(i\omega_{nm}t) + \text{к. с.}$$

Удобно разбить плотность индуцированного полем дипольного момента $\mathbf{P}(\mathbf{R}, t)$ на часть, соответствующую невозбужденной среде, $\mathbf{P}_0(\mathbf{R}, t)$ и поправку к ней $\mathbf{P}_1(\mathbf{R}, t)$, обусловленную наличием возбужденных состояний:

$$\mathbf{P}(\mathbf{R}, t) = \mathbf{P}_0(\mathbf{R}, t) + \mathbf{P}_1(\mathbf{R}, t),$$

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_1(\mathbf{R}, t) = n_0 \sum_{n, s} a_n^* a_s \int d\omega \sum_m (\omega_{ms} - \omega)^{-1} \overline{\mathbf{D}_{nm}(\mathbf{D}_{ms}\mathbf{E}(\mathbf{R}, \omega))} \times \\ \times \exp[i(\omega_{ns} - \omega)t] + \text{к. с.}, \end{aligned}$$

где черта означает усреднение по направлениям вектора \mathbf{D} , а штрих у суммы по n, s означает, что в сумме опущено слагаемое, соответствующее невозбужденному веществу ($n = s = 0$).

Принципиальное отличие \mathbf{P}_1 от \mathbf{P}_0 легко видеть на примере периодического поля. В этом случае $\mathbf{P}_0(\mathbf{R}, t)$ колеблется с частотой поля, $\mathbf{P}_1(\mathbf{R}, t)$ представляет наложение колебаний с комбинационными частотами $\omega - \omega_{ns}$. Такая зависимость поляризации от времени эквивалентна изменению свойств среды во времени, т. е. изменению во времени диэлектрической проницаемости. Возникновение такой зависимости даже в равновесном веществе связано с тем обстоятельством, что рассмотрение рассеяния электромагнитных волн всегда должно проводиться с большей точностью, чем обычное рассмотрение макроскопической теории. Значения макрополей здесь понимаются как результат усреднения только по физически бесконечно малому объему. Усреднение по движению частиц, как известно, в задаче рассеяния не проводится (оно может быть проведено только в окончательном результате), так как проведение такого усреднения в начальной стадии рассмотрения привело бы к исчезновению самого интересующего нас процесса рассеяния. Поэтому возникающая зависимость свойств среды от времени для равновесного вещества связана с отсутствием усреднения по движению частиц.

Полагая $\mathbf{E} = \mathbf{e}|E|$ в силу единственности выделенного направления \mathbf{e} , имеем

$$\overline{(\mathbf{D}_{nm}\mathbf{e})\mathbf{D}_{ms}} = \mathbf{e} \overline{(\mathbf{D}_{nm}\mathbf{e})(\mathbf{D}_{ms}\mathbf{e})},$$

так что

$$4\pi\mathbf{P}_1(\mathbf{R}, t) = \sum_{n, s} \int d\omega Q_{ns}(\omega) \mathbf{E}(\mathbf{R}, \omega) \exp[-i(\omega - \omega_{ns})t], \quad (2.2)$$

$$Q_{ns}(\omega) = 4\pi n_0 a_n^* a_s \sum_m \overline{(\mathbf{D}_{nm}\mathbf{e})(\mathbf{D}_{ms}\mathbf{e})} [(\omega_{ms} - \omega)^{-1} + (\omega_{mn} + \omega)^{-1}],$$

откуда следует соотношение, связывающее индукцию с полем:

$$\mathbf{D}(\mathbf{R}, t) = \int d\omega \left[\varepsilon_0(\omega) + \sum'_{n,s} Q_{ns}(\omega) \exp(i\omega_{ns}t) \right] \mathbf{E}(\mathbf{R}, \omega) e^{-i\omega t} \quad (2.3)$$

или

$$\mathbf{D}(\mathbf{k}, \omega) = \varepsilon_0(\omega) \mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega) + \sum'_{n,s} Q_{ns}(\omega + \omega_{ns}) \mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega + \omega_{ns}). \quad (2.3')$$

Эти соотношения доказывают эквивалентность вещества с возбужденными атомами веществу с переменной во времени диэлектрической проницаемостью. Например, в простейшем частном случае, когда заселены два уровня — основной и первый возбужденный, имеем¹⁾

$$\varepsilon(\omega, t) = \varepsilon_0(\omega) + Q_{10}(\omega) \exp(-i\omega_{10}t + 4\pi Q_{01}(\omega) \exp(i\omega_{10}t)).$$

Таким образом, система уравнений Максвелла в веществе с возбужденными атомами приобретает вид

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H}(\omega) &= 4\pi \mathbf{j}(\omega) - i\omega \varepsilon_0 \mathbf{E}(\omega) - i\omega \sum'_{n,s} Q_{ns}(\omega + \omega_{ns}) \mathbf{E}(\omega + \omega_{ns}), \\ \varepsilon_0 \operatorname{div} \mathbf{E}(\omega) &= 4\pi \rho(\omega) - \sum'_{n,s} Q_{ns}(\omega + \omega_{ns}) \operatorname{div} \mathbf{E}(\omega + \omega_{ns}), \\ \operatorname{div} \mathbf{H}(\omega) &= 0, \quad \operatorname{rot} \mathbf{E}(\omega) = i\omega \mathbf{H}(\omega). \end{aligned} \quad (2.4)$$

3. Интенсивность комбинационного излучения

Решение системы уравнений Максвелла (2.4) для поля равномерно движущегося заряда можно провести методом последовательных приближений. Для этого предположим, что Q_{ns} — малые величины и решение системы (2.4) пишется в виде

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots,$$

в котором k -ое слагаемое пропорционально $(Q_{ns})^k$.

В нулевом приближении система (2.4) совпадает с уравнениями Максвелла для невозбужденной среды. Поле равномерно движущегося заряда в такой среде $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ известно и дается формулой (1.1). В первом приближении по Q система (2.4) дает

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H}_1(\omega) &= -i\omega \varepsilon_0 \mathbf{E}_1(\omega) - i\omega \sum'_{n,s} Q_{n,s}(\omega + \omega_{ns}) \mathbf{E}_0(\omega + \omega_{ns}), \\ \operatorname{div} \mathbf{E}_1(\omega) &= -\frac{1}{\varepsilon_0} \sum'_{n,s} Q_{ns}(\omega + \omega_{ns}) \operatorname{div} \mathbf{E}_0(\omega + \omega_{ns}), \\ \operatorname{div} \mathbf{H}_1 &= 0, \quad \operatorname{rot} \mathbf{E}_1 = i\omega \mathbf{H}_1. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Из (3.1) следует, что $\mathbf{E}_1(\mathbf{R}, \omega)$ удовлетворяет уравнению

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{E}_1 + \omega^2 \varepsilon_0 \mathbf{E}_1 &= - \sum'_{n,s} Q_{ns}(\omega + \omega_{ns}) \left[\omega^2 \mathbf{E}_0(\omega + \omega_{ns}) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\varepsilon_0} \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{E}_0(\omega + \omega_{ns}) \right], \end{aligned} \quad (3.2)$$

которое совпадает по форме с уравнением для запаздывающих потенциалов. Поэтому решение (3.2) на далеких расстояниях может быть найдено с помощью известного приближенного выражения для запаздывающих потенциалов на большом расстоянии от источника [3]:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1(\mathbf{R}, \omega) &= \frac{e^{i\mathbf{k}\mathbf{R}}}{R} \sum_{n,s} Q_{ns} (\omega + \omega_{ns}) \int \frac{d^3r}{4\pi} e^{-i\mathbf{k}\mathbf{r}} \times \\ &\times \left[\omega^2 \mathbf{E}_0(\mathbf{r}, \omega + \omega_{ns}) + \frac{1}{\varepsilon_0} \nabla (\nabla \mathbf{E}_0(\mathbf{r}, \omega + \omega_{ns})) \right]; \\ \mathbf{k} &= \frac{\mathbf{R}}{R} \omega \sqrt{\varepsilon_0}. \end{aligned}$$

Используя выражение для $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ (1.1), нетрудно получить

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1(\mathbf{R}, \omega) &= \frac{e^{i\mathbf{k}\mathbf{R}}}{R} \sum_{n,s} (2\pi)^3 \left\{ Q_{ns} (\omega + \omega_{ns}) \left[\omega^2 \mathbf{E}_0(\mathbf{k}) - \right. \right. \\ &\left. \left. - \mathbf{k} (\mathbf{k} \mathbf{E}_0(\mathbf{k})) \frac{1}{\varepsilon_0} \right] \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v} + \omega_{ns}) \right\}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Как известно, энергия, излученная в интервал частот $d\omega$ в телесный угол $d\Omega$ за все время T пролета в веществе, определяется выражением

$$d\mathcal{E}(\omega, \mathbf{n}) = R^2 d\Omega |\mathbf{E}(\mathbf{R}, \omega)|^2 \sqrt{\varepsilon_0(\omega)}. \quad (3.4)$$

Предположим теперь, что в невозбужденной среде при равномерном движении заряда излучения нет ($v^2 \varepsilon_0 < 1$). Это означает, что поле $\mathbf{E}_0(\mathbf{R}, \omega)$ спадает на больших расстояниях быстрее, чем $1/R$. В этом случае на достаточно больших расстояниях в (3.4) можно опустить \mathbf{E}_0 , оставив только $\mathbf{E}_1(\mathbf{R}, \omega)$. Из (3.3) видно, что в этом случае в (3.4) возникают квадраты δ -функций с одинаковым аргументом, означающие, что излучение пропорционально полному времени пролета T . Действительно, преобразуя

$$[\delta(\omega \pm \omega_{ns} - \mathbf{k}\mathbf{v})]^2 = T(2\pi)^{-1} \delta(\omega \pm \omega_{ns} - \mathbf{k}\mathbf{v}),$$

можно из (3.3) и (3.4) получить, что энергия dJ , излученная в интервал частот $d\omega$ в телесный угол $d\Omega$ с единицы пути, определяется выражением

$$\begin{aligned} dJ &= \frac{1}{vT} d\mathcal{E}(\mathbf{n}, \omega) = \omega^4 d\omega d\Omega v^{-1} 2\pi^3 \sqrt{\varepsilon_0} \times \\ &\times \{[\mathbf{n} \mathbf{E}_0(\mathbf{k})]^2 \sum_{n,s} |Q_{ns}(\omega + \omega_{ns})|^2 \delta(\omega + \omega_{ns} - \mathbf{k}\mathbf{v}) \} \end{aligned}$$

или, подставляя $\mathbf{E}_0(\mathbf{k})$, выражением

$$\begin{aligned} dJ(\mathbf{n}, \omega) &= \frac{e^2}{2\pi v} \frac{\sqrt{\varepsilon_0(\omega)}}{\varepsilon_0(\mathbf{k}\mathbf{v})} \omega^2 d\omega d\Omega \frac{(\mathbf{k}\mathbf{v})^2 [\omega^2 \varepsilon_0(\mathbf{k}\mathbf{v}) - (\mathbf{k}\mathbf{v}^2)]}{[k^2 - (\mathbf{k}\mathbf{v})^2 \varepsilon_0(\mathbf{k}\mathbf{v})]^2} \times \\ &\times \sum_{n,s} |Q_{ns}(\omega + \omega_{ns})|^2 \delta(\omega + \omega_{ns} - \mathbf{k}\mathbf{v}). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Из (3.5) следует, что угол ϑ между направлением импульса фотона \mathbf{k} и направлением скорости части v связан с частотой фотона ω соотношениями

$$\cos \vartheta = \frac{1}{v \sqrt{\varepsilon_0(\omega)}} \left(1 - \frac{|\omega_{ns}|}{\omega} \right),$$

что совпадает с формулой (1.1), полученной из рассмотрения законов сохранения при излучении.

Интегрируя по углам с помощью δ -функции, нетрудно найти энергию, излучаемую равномерно движущимся зарядом в интервал частот $d\omega$ по всем направлениям с единицы пути:

$$dJ(\omega) = \frac{e^2}{v^2} \omega d\omega \sum |Q_{ns}(\omega + \omega_{ns})|^2 \times \\ \times \frac{(\omega + \omega_{ns})^2 [\omega^2 \varepsilon_0(\omega + \omega_{ns}) - (\omega + \omega_{ns})^2]}{\varepsilon_0(\omega + \omega_{ns}) [\omega^2 \varepsilon_0(\omega) - (\omega + \omega_{ns})^2 \varepsilon(\omega + \omega_{ns})]^2}, \quad (3.6)$$

$$|\omega_{ns}| > \omega(1 - v\sqrt{\varepsilon_0(\omega)}).$$

Рассмотрим в качестве примера простейший случай, когда до включения поля заселены только основной и первый возбужденный уровни атомов. Тогда $Q_{ns} = 0$ при $s \geq 2$, $n \geq 2$; диагональные элементы не дают колебаний с комбинационными частотами и не приводят к излучению. Поэтому остается учесть только Q_{01} и Q_{10} , и от суммы по n, s остается лишь два слагаемых. Предполагая условие $\omega_{10} > \omega(1 - v\sqrt{\varepsilon_0(\omega)})$ выполненным, имеем из (3.6)

$$dJ = \frac{e^2}{v^2} \frac{\omega d\omega}{\varepsilon_0(\omega + \omega_{10})} \frac{(\omega + \omega_{10})^2 [\omega^2 \varepsilon_0(\omega + \omega_{10}) - (\omega + \omega_{10})^2]}{[\omega^2 \varepsilon_0(\omega) - (\omega + \omega_{10})^2 \varepsilon_0(\omega + \omega_{10})]^2} \times \\ \times \{|Q_{10}(\omega + \omega_{10})|^2 + |Q_{01}(-\omega - \omega_{10})|^2\}, \quad (3.7)$$

причем излучение с заданной частотой ω испускается под одним строго определенным углом, определяемым равенством

$$\cos \vartheta = \frac{1}{v\sqrt{\varepsilon_0}} \left(1 - \frac{\omega_{10}}{\omega}\right).$$

Как было указано [2], это обстоятельство позволяет использовать комбинационное излучение для детектирования заряженных частиц высокой энергии. Преимуществом такого метода является то обстоятельство, что, подбирая частоту излучения ω и энергию возбуждения ω_{10} , можно всегда добиться такого положения, чтобы угол вылета кванта был порядка единицы даже при каких угодно высоких энергиях частицы.

4. Ионизационные потери в веществе с возбужденными атомами

Прямолинейно движущаяся в веществе заряженная частица за все время пролета T теряет на ионизацию и возбуждение атомов энергию

$$\Delta \mathcal{E} = ev \int_{-T/2}^{T/2} dt \mathbf{E}(vt, t) = e \int d\omega \int d^3k \mathbf{vE}(\mathbf{k}, \omega) \int_{-T/2}^{T/2} dt \exp[it(\mathbf{k}\mathbf{v} - \omega)].$$

При больших T интеграл по t ведет себя как δ -функция, и для энергии, потерянной в интервале частот $d\omega$, за единицу времени можно получить

$$dJ = e \frac{2\pi}{T} d\omega \int d^3k \mathbf{vE}(\mathbf{k}, \mathbf{k}\mathbf{v}) \{\delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v}) + \delta(\omega + \mathbf{k}\mathbf{v})\}.$$

Удобно преобразовать это выражение следующим образом. Выберем калибровку потенциалов, при которой $\varphi = 0$, и введем заиаздывающую

гриновскую функцию электромагнитного поля в веществе с возбужденными атомами $D_{ii}^R(\mathbf{k}, \omega, \omega')$ с помощью соотношения

$$A_i(\mathbf{k}, \omega) = \int d\omega' D_{ii}^R(\mathbf{k}, \omega, \omega') j_i(\mathbf{k}, \omega'). \quad (4.1)$$

Зависимость D_{ii}^R от двух частот ω и ω' связана с отмеченным выше обстоятельством эквивалентности возбужденного вещества веществу с переменной во времени диэлектрической проницаемостью. В конечном счете зависимость $D_{ii}^R(\mathbf{k}, \omega, \omega')$ от двух частот и следующее из нее неравноправие различных моментов времени для равновесной среды связано с упомянутым выше отсутствием в предыдущем рассмотрении усреднения по движению частиц.

Естественно, что в равновесном веществе после всех усреднений не остается выделенного момента времени, и гриновская функция должна иметь вид $D_{ii}^R(\mathbf{k}, \omega) \delta(\omega - \omega')$. Используя соотношение

$$E_i(\mathbf{k}, \omega) = i\omega \int d\omega' D_{ij}^R(\mathbf{k}, \omega, \omega') j_j(\mathbf{k}, \omega')$$

и выражение для тока равномерно движущегося заряда $j_i = ev_i(2\pi)^{-3} \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v})$, можно преобразовать спектральную плотность ионизационных потерь к виду

$$\frac{dI}{d\omega} = -\frac{e^2\omega}{4\pi^2 T} \int d^3k \operatorname{Im} v_i v_j D_{ij}^R(\mathbf{k}, \mathbf{k}\mathbf{v}, \mathbf{k}\mathbf{v}) \{ \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v}) + \delta(\omega + \mathbf{k}\mathbf{v}) \}. \quad (4.2)$$

Из уравнений Максвелла для возбужденного вещества нетрудно получить уравнение для $D_{ii}^R(\mathbf{k}, \omega, \omega')$:

$$D_{ii}^R(\mathbf{k}, \omega, \omega') = D_{ii}^{0R}(\mathbf{k}, \omega) \delta(\omega - \omega') + D_{ii}^{0R}(\mathbf{k}, \omega) \times \\ \times \sum_{ns} \Pi_{ii'}(\omega + \omega_{ns}) D_{i'i}^R(\mathbf{k}, \omega + \omega_{ns}, \omega'),$$

где $D_{ii}^{0R}(\mathbf{k}, \omega) \delta(\omega - \omega')$ — гриновская функция электромагнитного поля в невозбужденном веществе (при выбранной калибровке $D_{44}^{0R} = D_{ii}^{0R} = D_{ii}^{0R} = 0$).

Так как D_{ii}^R и D_{ii}^{0R} зависят только от одного вектора \mathbf{k} , не нарушая общности, можно представить их в виде

$$D_{ii}^{R(0R)}(\mathbf{k}, \omega, \omega') = \left(\delta_{ii} - \frac{\mathbf{k}_i \mathbf{k}_i}{k^2} \right) D^{(0t)}(k, \omega, \omega') + \frac{\mathbf{k}_i \mathbf{k}_i}{k^2} D^{(0l)}(k, \omega, \omega'),$$

причем величины D^{0t} и D^{0l} связаны с диэлектрической проницаемостью невозбужденной среды ϵ_0 :

$$D^{0t} = 4\pi(k^2 - \epsilon_0\omega^2)^{-1}, \quad D^{0l} = -4\pi / \epsilon_0\omega^2.$$

Уравнение для D_{ii}^R приобретает теперь вид

$$D^{t(0)}(k, \omega, \omega') = D^{0t(0l)}(k, \omega) \delta(\omega - \omega') + \\ + D^{0t(0t)}(k, \omega) \sum_{n,s} \Pi^{t(0)}(\omega + \omega_{ns}) D^{t(0)}(k, \omega + \omega_{ns}, \omega'). \quad (4.3)$$

Решение этого уравнения при $\omega \rightarrow \omega'$ ведет себя как $D^{t(0)}(k, \omega) \delta(\omega - \omega')$, причем функцию $D^{t(0)}(k, \omega)$ можно найти следующим образом. Заменим $D(k, \omega + \omega_{ns}, \omega')$ справа в (4.3) снова по (4.3) и устремим в полученном уравнении $\omega \rightarrow \omega'$, удерживая только главные члены с δ -функциональной особенностью. В четырехкратной сумме по n, n', s, s' величина $\delta(\omega - \omega')$

возникнет только в членах, для которых $\omega_{ns} + \omega_{n's'} = 0$, т. е. при $n = s'$, $s = n'$. Поэтому останется только двукратная сумма, и для коэффициентов при $\delta(\omega - \omega')$ получим соотношение

$$D^{(l)}(k, \omega) = D^{0l(0)}(k, \omega) (1 + \Delta^l(k, \omega)) D^{l(0)}(k, \omega),$$

где

$$\Delta^l(k, \omega) = \sum_{n,s} \Pi^{l(0)}(\omega + \omega_{ns}) D^{0l(0)}(k, \omega + \omega_{ns}) \Pi^{l(0)}(\omega + \omega_{ns}),$$

и, следовательно,

$$D^{l(0)}(k, \omega) = \frac{D^{0l(0)}(k, \omega)}{1 - D^{0l(0)}(k, \omega) \Delta^l(k, \omega)}.$$

Представляя теперь $\delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v})$ в (4.2) снова в виде интеграла по t и сокращая T в числителе и знаменателе, нетрудно получить спектральную плотность потерь в виде

$$\frac{dJ}{d\omega} = -\frac{e^2\omega}{2\pi^2} \int \frac{d^3k}{k^2} \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v}) \operatorname{Im} \left\{ \frac{[k\mathbf{v}]^2}{k^2 - \epsilon_0\omega^2 - \Delta^l} - \frac{(\mathbf{k}\mathbf{v})^2}{\epsilon_0\omega^2 + \Delta^l} \right\}. \quad (4.4)$$

Выясним теперь физический смысл величины $D_{ii^R}(k, \omega) \delta(\omega - \omega')$. Усреднив величину $D_{ii^R}(k, \omega, \omega')$ по движению частиц. Из общих соображений очевидно, что ответ должен иметь вид $D_{ii^R}(k, \omega) \delta(\omega - \omega')$. В приближении, квадратичном по Q , ничего другого, кроме найденного выше решения, не может получиться, потому что все слагаемые, пропорциональные $\delta(\omega - \omega')$, уже учтены. Поэтому найденная выше величина $D_{ii^R}(k, \omega) \delta(\omega - \omega')$ и представляет полностью усредненную гриновскую функцию электромагнитного поля в приближении Q^2 . Отсюда, в частности, следует, что связь частоты и волнового вектора фотона определяется корнями уравнения

$$k^2 = \epsilon_0(\omega) \omega^2 + \Delta^l(k, \omega),$$

которое из-за малости Δ^l можно записать как

$$k^2 \approx \epsilon_0\omega^2 + \Delta^l(\omega) \sqrt{\epsilon_0(\omega)} \approx \epsilon_0(\omega + \Delta^l/2\omega\epsilon_0)^2.$$

Таким образом, ω представляет энергию, потерянную частицей, и из-за комбинационного рассеяния не совпадает с частотой излученного кванта ω_k .

Рассмотрим теперь спектральную плотность потерь энергии в той области частот, где среда прозрачна ($\operatorname{Im} \epsilon_0 \rightarrow 0$), функция $\epsilon_0(\omega)$ не проходит через нуль и в невозбужденном веществе отсутствует излучение Вавилова — Черенкова ($v^2\epsilon_0 < 1$). В этом случае спектральная плотность потерь в невозбужденном веществе обращается в нуль. В возбужденном веществе потери уже не будут обращаться в нуль из-за существования комбинационного излучения.

Используя известное соотношение $\operatorname{Im}(x - i\delta)^{-1} = \pi\delta(x)$, можно в рассматриваемой области частот представить спектральную плотность ионизационных потерь в виде

$$\frac{dJ}{d\omega} = \frac{e^2\omega}{2\pi} \int \frac{d^3k}{k^2} (k^2 v^2 - \omega^2) \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v}) \delta\left(k^2 - \epsilon_0\left(\omega + \frac{\Delta^l}{2\omega\epsilon_0}\right)^2\right),$$

так что спектральная плотность комбинационного излучения принимает вид

$$\frac{dJ}{d\omega_k} = \frac{e^2\omega}{2\epsilon_0\omega_k^2 v} \left(\frac{\partial\omega}{\partial\omega_k} \right) (v^2\omega_k^2\epsilon_0 - \omega^2) \int_0^\pi \sin\theta d\theta \delta\left(\cos\theta - \frac{\omega}{v\sqrt{\epsilon_0\omega_k}}\right); \quad (4.5)$$

Таким образом, угол вылета излучения определяется формулой

$$\cos \vartheta = \frac{1}{v \sqrt{\varepsilon_0}} \frac{\omega}{\omega_k} = \frac{1}{v \sqrt{\varepsilon_0}} \left(1 - \frac{\Delta E}{\omega_k} \right)$$

где ΔE есть величина $\Delta^t(\omega \sqrt{\varepsilon_0}, \omega) / 2\omega\varepsilon_0$, выраженная через ω_k . Формула для угла вылета излучения совпадает с выведенной из кинематических соображений формулой (1.2). Тот факт, что ΔE не совпадает с одной из собственных частот атома, не удивителен, так как рассмотрение этого раздела учитывает передачу энергии в результате произвольного числа актов комбинационного рассеяния.

Результаты метода последовательных приближений получаются из (4.5), если считать $k^2 - \omega^2\varepsilon_0 \gg \Delta^t$ и разложить (4.4) по Δ^t . Следовательно, область применимости (3.7) ограничена условием $k^2 - \omega^2\varepsilon_0 \gg \Delta^t$ или $1 - v^2\varepsilon_0 \gg \Delta^t/k^2$, т. е. удаленностью от порога излучения Вавилова — Черенкова для невозбужденного вещества. Отметим, что при релятивистских энергиях частицы $E \gg M$ и для излучения частот, больше атомных ($\varepsilon_0 = 1 - (\omega_L / \omega)^2$, $\omega_L^2 = 4\pi ne^2 Z / m$), условие применимости метода последовательных приближений выглядит как $(M/E)^2 + (\omega_L / \omega)^2 \gg \Delta^t / k^2$. Это означает, что с ростом энергии частицы и увеличением частоты всегда найдется такая область, в которой неприменим метод последовательных приближений и следует пользоваться более точной формулой (4.5).

Московский инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
16 декабря 1964 г.

Литература

- [1] Я. Б. Файнберг, Н. А. Хижняк. ЖЭТФ, **32**, 883, 1957. М. Л. Тер-Микаелян. ДАН СССР, **134**, 318, 1960. Г. М. Гарбян. ЖЭТФ, **35**, 1435, 1958.
- [2] М. И. Рязанов. ЖЭТФ, **43**, 1559, 1962.
- [3] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теория поля, Физматгиз, 1962.
- [4] К. А. Барсуков, Б. М. Болотовский. ЖЭТФ, **45**, 303, 1964.

COMBINATIONAL RADIATION FROM A UNIFORMLY MOVING CHARGE

M. I. Ryzanov

It is shown that the interaction between the proper field of a uniformly moving charge and excited atoms of matter leads to the appearance of radiation with a frequency which differs from that corresponding to the excitation energy of the atom. The radiation intensity depends on the particle velocity, angle of emission of the quantum and excitation energy of the atoms in such a way that in the presence of atoms with a single excited state in matter, the measurement of particle energy on basis of the emission angle of the quantum should be possible.

КОГЕРЕНТНОЕ ВЫСВЕЧИВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ БЫСТРОЙ ЧАСТИЦЕЙ АТОМОВ ВЕЩЕСТВА В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

М. И. Рязанов

Показано, что в системе атомов вещества, возбужденных быстрой частицей, под действием поля электромагнитной волны возникают направления когерентного высвечивания. Направление когерентного высвечивания жестко связано с частотой излучения, скоростью частицы и характеристиками электромагнитной волны. Исследован случай резонанса между частотой волны и частотой перехода между двумя возбужденными состояниями атома. Обсуждается возможность использования когерентного высвечивания для измерения энергии быстрых частиц.

1. Введение

Как известно, с микроскопической точки зрения источником излучения Вавилова — Черенкова является не сама быстрая частица, а возбужденные ею атомы вещества. Если скорость частицы больше скорости света в веществе, то пространственно-временное распределение возбужденных атомов таково, что существует направление когерентного высвечивания возбужденных атомов, для которого суммируются амплитуды, а не вероятности высвечивания отдельных атомов. Если скорость частицы меньше скорости света в веществе, то направлений когерентного высвечивания просто не существует и процесс высвечивания происходит некогерентно, независимо для каждого атома.

Если на возбужденное частицей вещество действует внешнее электромагнитное поле, то оно изменяет пространственно-временное распределение возбужденных атомов. При этом в зависимости от свойств внешнего поля могут измениться существующие направления когерентного высвечивания и могут возникнуть новые направления когерентного высвечивания.

Заметим, что наличие внешнего поля может привести и к существенному увеличению интенсивности когерентного высвечивания по сравнению с излучением Вавилова — Черенкова. Это возможно потому, что на излучение Вавилова — Черенкова расходуется лишь малая часть всей энергии возбуждения.

Действие электромагнитной волны на возбужденный атом можно свести к поглощению квантов волны. Это обстоятельство позволяет рассмотреть кинематику когерентного высвечивания в поле волны. Пусть частица возбуждает атом, изменяя свой импульс от \mathbf{p} до $\mathbf{p} - \mathbf{q}$, после чего из поля волны поглощаются кванты с импульсами \mathbf{k}_1 и \mathbf{k}_2 и происходит когерентное высвечивание кванта с импульсом \mathbf{k} . Когерентное участие различных атомов вещества в таком процессе обеспечивается тем, что в результате всего процесса атом остается в том же состоянии, что и до взаимодействия с частицей. В этом случае переданные атому энергия и импульс должны быть равны нулю:

$$\begin{aligned} \mathbf{q} + \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 &= \mathbf{k}, \\ (p^2 + m^2)^{1/2} - ((\mathbf{p} - \mathbf{q})^2 + m^2)^{1/2} + \omega_1 + \omega_2 &= \omega. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Исключая q из (1.1), можно получить условие, связывающее направление вылета кванта \mathbf{k} с его частотой и характеристиками поля:

$$\frac{\mathbf{k}(\mathbf{p} + \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2)}{\omega(E + \omega_1 + \omega_2)} = 1 - \frac{2E(\omega_1 + \omega_2) - 2p(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2) + (\omega_1 + \omega_2)^2 - (\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2)^2 + \omega^2 - k^2}{2\omega(E + \omega_1 + \omega_2)}. \quad (1.2)$$

В оптической области частот можно пренебречь величинами ω/E , ω_1/E , ω_2/E , получив для угла θ вылета кванта условие

$$\cos \theta = \frac{1}{v\sqrt{\epsilon}} \left(1 - \frac{\omega_1 + \omega_2 - \mathbf{k}_1 \mathbf{v} - \mathbf{k}_2 \mathbf{v}}{\omega} \right). \quad (1.3)$$

При обращении в нуль частоты поглощаемых квантов (1.3) переходит в известную формулу для угла вылета излучения Вавилова — Черенкова [1]. Соотношения (1.2), (1.3) могут быть использованы для измерения энергии быстрых частиц [2].

2. Макроскопическое рассмотрение когерентного высвечивания в поле волны

При когерентном высвечивании в поле волны на вещество действуют два поля: поле внешней возбуждающей волны $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ и поле частицы. Поэтому рассматриваемый эффект — результат нелинейного взаимодействия полей в веществе.

Такого рода эффекты рассматриваются в нелинейной оптике [3-5] методами нелинейной макроскопической электродинамики. Нелинейные свойства вещества в этом случае описываются феноменологически, введением нелинейных восприимчивостей различных порядков. Для не очень сильных полей зависимость нелинейной поляризации среды от полного поля $\mathbf{E}^i(\mathbf{r}, t)$ в однородном, изотропном и стационарном веществе имеет вид

$$P_i^{NL}(\mathbf{r}, \omega) = \int d\omega' \int d\omega'' \chi(\omega, \omega', \omega'') E_i^t(\mathbf{r}, \omega - \omega') \times \\ \times E_j^t(\mathbf{r}, \omega' - \omega'') E_j^t(\mathbf{r}, \omega''), \quad (2.1)$$

где $\chi(\omega, \omega', \omega'')$ — нелинейная восприимчивость третьего порядка (значения χ для ряда веществ измерены экспериментально в [6, 7]). Выберем теперь возбуждающее поле $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ в виде

$$\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t) = e \{ E_{01} \cos(\mathbf{k}_1 \mathbf{r} - \omega_1 t + \varphi_1) + E_{02} \cos(\mathbf{k}_2 \mathbf{r} - \omega_2 t + \varphi_2) \}, \quad (2.2)$$

где e — единичный вектор направления поля, и разобьем полное поле на $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ и оставшуюся часть $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$:

$$\mathbf{E}^i(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t) + \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$$

$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ включает и поле частицы и возникающее в результате взаимодействия поле когерентного высвечивания. Если рассмотреть область частот, не совпадающую с частотами возбуждающего поля (2.2), то в этой области линейная часть поляризации вещества определяется только полем $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ и учитывается введением обычной линейной диэлектрической проницаемости среды $\epsilon_0(\omega)$. Действие поля $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ в этой области частот приводит к появлению дополнительной поляризации (2.1).

Пусть $E_0 \gg E$, так что в (2.1) можно ограничиться только линейными по E слагаемыми, тогда индукция остается линейной по E и без поля E .

и в этом поле. Можно поэтому считать, что в рассматриваемом приближении действие поля волны $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ свелось к некоторому изменению диэлектрических свойств вещества. Из (2.1) и (2.2) нетрудно получить выражение для электрической индукции:

$$D_i(\mathbf{r}, \omega) = \varepsilon_{ij} E_j(\mathbf{r}, \omega) + \sum_{\alpha, \beta=1,2} \sum_{\xi, \eta=\pm 1} Q_{ij}(\omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) \exp\{i\xi \mathbf{k}_\alpha \mathbf{r} - i\eta \mathbf{k}_\beta \mathbf{r}\} E_j(\mathbf{r}, \omega - \xi \omega_\alpha + \eta \omega_\beta); \quad (2.3)$$

здесь использованы обозначения

$$\begin{aligned} \kappa &= 2\pi \sum_{\alpha=1,2} \sum_{\xi=\pm 1} E_{\alpha\alpha}{}^2 \chi(\omega, \omega - \xi \omega_\alpha, \omega), \\ \varepsilon_{ij} &= \varepsilon \delta_{ij} + \kappa e_i e_j = (\varepsilon_0 + 1/2\kappa) \delta_{ij} + \kappa e_i e_j, \\ Q_{ij}(\omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) &= \pi(1 - \delta_{\alpha\beta} \delta_{\xi\eta}) (\delta_{ij} + 2e_i e_j) \cdot \\ &\cdot E_{\alpha\alpha} E_{\beta\beta} \chi(\omega, \omega - \xi \omega_\alpha, \omega - \xi \omega_\alpha + \eta \omega_\beta) \exp\{i\xi \varphi_\alpha - i\eta \varphi_\beta\}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Из (2.3) следует, что поле волны $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)$ делает среду анизотропной, неоднородной и нестационарной.

Для фурье-компоненты поля

$$\mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega) = (2\pi)^{-3} \int d^3r e^{-i\mathbf{k}\mathbf{r}} \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega)$$

из уравнений Максвелла следует уравнение

$$\begin{aligned} (k^2 \delta_{ij} - k_i k_j - \omega^2 \varepsilon_{ij}) E_j(\mathbf{k}, \omega) &= 4\pi i e \omega v_i \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v}) (2\pi)^{-3} + \\ + \omega^2 \sum_{\alpha, \beta=1,2} \sum_{\xi, \eta=\pm 1} Q_{ij}(\omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) E_j(k - \xi k_\alpha + \eta k_\beta, \omega - \xi \omega_\alpha + \eta \omega_\beta). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Удобно ввести вспомогательную величину $E_i^0(\mathbf{k}, \omega)$ — решение уравнения (2.5) при $Q \rightarrow 0$, т. е. собственное поле заряда, движущегося со скоростью \mathbf{v} в среде с диэлектрической проницаемостью (2.4):

$$\begin{aligned} E_i^0(\mathbf{k}, \omega) &= E_i^0(\mathbf{k}) \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v}) = \frac{4\pi i e \delta(\omega - \mathbf{k}\mathbf{v})}{(k^2 - \omega^2 \varepsilon) \varepsilon} (2\pi)^{-3} \cdot \\ \cdot \left\{ \varepsilon \omega v_i - k_i + \frac{\kappa}{\varepsilon} \frac{(k_i(\mathbf{k}\mathbf{e}) - e_i \omega^2 \varepsilon) ((\mathbf{k}\mathbf{e}) - (\mathbf{v}\mathbf{e}) \omega \varepsilon)}{k^2 + (\mathbf{e}\mathbf{k})^2 \kappa / \varepsilon - \omega^2 (\varepsilon + \kappa)} \right\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Используя (2.6), можно преобразовать (2.5) к виду

$$\begin{aligned} E_i(\mathbf{k}, \omega) &= E_i^0(\mathbf{k}, \omega) + \\ + \sum_{\alpha, \beta=1,2} \sum_{\xi, \eta=\pm 1} \Phi_{is}(\mathbf{k}, \omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) E_s(\mathbf{k} - \xi \mathbf{k}_\alpha + \eta \mathbf{k}_\beta, \omega - \xi \omega_\alpha + \eta \omega_\beta). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Уравнение (2.7) можно решать методом последовательных приближений, используя малость отношения внешнего возбуждающего поля к внутреннему, т. е. малость величины

$$\begin{aligned} \Phi_{is}(\mathbf{k}, \omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) &= Q_{is}(\omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) (k^2 - \omega^2 \varepsilon)^{-1} \left\{ \omega^2 \delta_{ij} - \right. \\ &\left. - \frac{k_i k_j (k^2 - \omega^2 (\varepsilon + \kappa)) - \omega^4 \kappa \varepsilon e_i e_j + \omega^2 \kappa (\mathbf{e}\mathbf{k}) (e_i k_j + e_j k_i)}{\varepsilon [k^2 + (\mathbf{e}\mathbf{k})^2 \kappa / \varepsilon - \omega^2 (\varepsilon + \kappa)]} \right\} \end{aligned}$$

В нулевом приближении можно пренебречь Φ_{is} в правой части (2.7), тогда решение (2.7) совпадает с (2.6). В первом приближении заменим E_s на E_s^0 в правой части (2.7):

$$E_i^{(1)}(\mathbf{k}, \omega) = E_i^0(\mathbf{k}, \omega) + \sum_{\alpha, \beta=1, 2} \sum_{\xi, \eta=\pm 1} \Phi_{is}(\mathbf{k}, \omega, \alpha, \beta, \xi, \eta) E_s^0(\mathbf{k} - \xi \mathbf{k}_\alpha + \eta \mathbf{k}_\beta, \omega - \xi \omega_\alpha + \eta \omega_\beta). \quad (2.8)$$

Решение первого приближения (2.8) распадается на сумму слагаемых, каждое из которых удобно исследовать независимо. В качестве примера приведем наиболее интересные слагаемые $\xi = -\eta = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = 2$ и $\alpha = 2$, $\beta = 1$, соответствующие поглощению двух различных квантов возбуждающего поля. Ограничимся рассмотрением таких сред, для которых отсутствует излучение Вавилова — Черенкова, т. е. решение нулевого приближения (2.6) не содержит поля излучения и, следовательно, $E_i^0(\mathbf{k}, \omega)$ не имеет полюсов на действительной оси. Тогда в первом приближении поле излучения будет определяться полюсами величины

$$\Phi_{ij}(\mathbf{k}, \omega) = \Phi_{ij}(\mathbf{k}, \omega, 1, 2, 1, -1) + \Phi_{ij}(\mathbf{k}, \omega, 2, 1, 1, -1).$$

Учитывая существование в веществе бесконечно малого поглощения, можно для определения поля на далеких расстояниях использовать известную асимптотическую формулу

$$\int \frac{d^3 p f(\mathbf{p}) e^{i\mathbf{p}\mathbf{r}}}{p^2 - k^2 - i0} \approx 2\pi^2 \frac{e^{i\mathbf{r}\mathbf{k}}}{R} f\left(k \frac{\mathbf{R}}{R}\right), \quad (2.9)$$

справедливую при $kR \gg 1$.

Анизотропия свойств вещества во внешнем поле приводит к существованию обыкновенных и необыкновенных волн, как и в одноосных кристаллах. Поле когерентного высвечивания обыкновенных волн может быть получено в виде

$$E_i^{(0)}(\mathbf{R}, \omega) = 2\pi^2 \omega^2 \frac{\exp\{i\omega \sqrt{\epsilon} \bar{R}\}}{R} \left(\delta_{ij} - \frac{n_i n_j + e_i e_j - (\mathbf{en})(e_i n_j + e_j n_i)}{1 - (\mathbf{ne})^2} \right) \cdot Q_{js}(\omega) E_s^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \mathbf{vk} + \mathbf{vk}_1 + \mathbf{vk}_2); \quad (2.10)$$

$$Q_{js}(\omega) = Q_{js}(\omega, 1, 2, 1, -1) + Q_{js}(\omega, 2, 1, 1, -1), \quad \mathbf{k} = \mathbf{n}\omega \sqrt{\epsilon},$$

$\mathbf{n} = \mathbf{R}/R$ — единичный вектор направления на точку наблюдения. Угол когерентного высвечивания частоты ω определяется выражением

$$\cos \theta = \frac{1}{v\sqrt{\epsilon}} \left(1 - \frac{\omega_1 + \omega_2 - \mathbf{vk}_1 - \mathbf{vk}_2}{\omega} \right), \quad (2.11)$$

совпадающим с полученной из кинематических соображений формулой (1.2).

Поле когерентного высвечивания необыкновенных волн может быть получено в виде

$$E_i^{(0)}(\mathbf{R}, \omega) = 2\pi^2 \omega^2 \frac{\exp\{iR\omega[\epsilon + \kappa - \kappa(\mathbf{ne})^2]^{1/2}\}}{R\sqrt{\epsilon}[\epsilon + \kappa - \kappa(\mathbf{ne})^2]^{1/2}} \frac{1 - (\mathbf{ne})^2}{1 - (\mathbf{ne})^2} \cdot \{q_i q_j (\mathbf{eq})^2 (\epsilon + \kappa) + \epsilon e_i e_j - (\mathbf{eq})(\epsilon + \kappa)(e_i q_j + e_j q_i)\} Q_{js}(\omega) \cdot E_s^0(\mathbf{q}\omega \sqrt{\epsilon + \kappa} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - (\mathbf{q}\omega \sqrt{\epsilon + \kappa} + \mathbf{vk}_1 + \mathbf{vk}_2), \quad (2.12)$$

где введено обозначение

$$\mathbf{q} = \left(\mathbf{n} - \mathbf{e}(\mathbf{en}) \frac{\kappa}{\varepsilon + \kappa} \right) \left(1 - (\mathbf{en})^2 \frac{\kappa}{\varepsilon + \kappa} \right)^{-1/2}. \quad (2.13)$$

Когерентное высвечивание необыкновенных волн частоты ω можно зарегистрировать в точке наблюдения, находящейся в направлении, определенном из условия

$$\frac{\mathbf{n}(\mathbf{v} - \mathbf{e}(\mathbf{ev})\kappa/(\varepsilon + \kappa))}{[1 - (\mathbf{ne})^2\kappa/(\varepsilon + \kappa)]^{1/2}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon + \kappa}} \left(1 - \frac{\omega_1 + \omega_2 - \mathbf{vk}_1 - \mathbf{vk}_2}{\omega} \right) \quad (2.14)$$

Формула (2.14) существенно отличается от не учитывающей анизотропию вещества в поле кинематической формулы (1.2). Однако при малых κ/ε различие между обыкновенными и необыкновенными волнами мало, и в пределе $\kappa \rightarrow 0$ выражения (2.14) и (2.11) совпадают. Если пренебречь отношением κ/ε , то поле когерентного высвечивания определяется формулой

$$E_i(R, \omega) = 2\pi^2\omega^2 \frac{\exp\{i\omega\sqrt{\varepsilon}R\}}{R} (\delta_{ij} - n_i n_j) Q_{js}(\omega) \cdot \\ \cdot E_s^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \mathbf{vk} + \mathbf{vk}_1 + \mathbf{vk}_2), \quad (2.15)$$

а направление вылета излучения то же, что и для обыкновенных волн.

Энергия, уносимая при когерентном высвечивании в телесный угол $d\Omega$ в направлении \mathbf{n} и в интервал частот $d\omega$ за большое время взаимодействия T , может быть легко получена из (2.10), (2.12) или (2.15). Например, обыкновенные волны уносят энергию

$$d\mathcal{E} = \omega^4 d\omega d\Omega T 2\pi^3 \sqrt{\varepsilon} \left\{ E_s^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) E_s^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \cdot \right. \\ \cdot Q_{ei}(\omega) Q_{ej}^*(\omega) \left[\delta_{ij} - \frac{n_i n_j + e_i e_j - (\mathbf{en})(e_i n_j + e_j n_i)}{1 - (\mathbf{ne})^2} \right] \Big\} \cdot \\ \cdot \delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \mathbf{kv} + \mathbf{k}_1 \mathbf{v} + \mathbf{k}_2 \mathbf{v}). \quad (2.16)$$

В предельном случае $\kappa \ll \varepsilon$ различие между обыкновенными и необыкновенными волнами исчезает и уносится энергия

$$d\mathcal{E} = \omega^4 d\omega d\Omega T \cdot 2\pi^3 \sqrt{\varepsilon} \{ E_s^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) E_s^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \cdot \\ \cdot Q_{ei}(\omega) Q_{ej}^*(\omega) (\delta_{ij} - n_i n_j) \} \delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \mathbf{kv} + \mathbf{k}_1 \mathbf{v} + \mathbf{k}_2 \mathbf{v}). \quad (2.17)$$

3. Когерентное высвечивание в резонансном внешнем поле

Возбуждающее поле сильнее изменяет заселенность атомных уровней, если частота поля совпадает с частотой перехода связанного электрона в атоме.

Для того чтобы внешнее поле в отсутствие частицы слабо возбуждало атомы, удобно выбирать частоты поля резонансными не по отношению к переходам из основного состояния, а для переходов между двумя возбужденными состояниями. Тогда поле сильно перераспределяет заселенности уже возбужденных частицей атомов, но слабо действует на невозбужденные атомы. Поэтому выберем внешнее поле в виде (2.2), а частоты равными

$$\omega_1 = E_2 - E_1 + \varepsilon_1 = \omega_{21} + \varepsilon_1, \quad \omega_2 = E_3 - E_2 + \varepsilon_2 = \omega_{32} + \varepsilon_2 \\ (\varepsilon_i \ll \omega_i);$$

здесь $E_3 > E_2 > E_1$ — энергии возбужденных состояний атома.

Отсутствие достаточно подробных экспериментальных сведений о поведении нелинейной восприимчивости $\chi(\omega, \omega', \omega'')$ в области резонансных частот делает в настоящее время невозможной оценку эффекта. Поэтому для теоретической оценки эффекта в резонансном случае приведем микроскопическое рассмотрение, выразив непосредственно входящую в окончательный результат величину $Q_{ij}(\omega)$ через микроскопические характеристики вещества и линейную диэлектрическую проницаемость.

Найдем нелинейную часть поляризации вещества

$$\mathbf{P}^{NL}(\mathbf{k}, \omega) = (2\pi)^{-3} \int d^3r e^{-i\mathbf{k}\mathbf{r}} \mathbf{P}^{NL}(\mathbf{r}, \omega),$$

частью которой является $Q_{ij}(\omega)E_j(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2, \omega - \omega_1 - \omega_2)$.

Если ввести дипольный момент, индуцируемый полем в расположенном в точке \mathbf{R} атоме:

$$\mathbf{d}(\mathbf{R}, t) = \int d^3k \int d\omega \mathbf{d}(\mathbf{k}, \omega) \exp\{i\mathbf{k}\mathbf{R} - i\omega t\},$$

то нелинейную часть поляризации, следуя работам [4, 6], можно связать с нелинейной частью \mathbf{d} :

$$\mathbf{P}^{NL}(\mathbf{k}, \omega) = n_0 \zeta \mathbf{d}^{NL}(\mathbf{k}, \omega),$$

где коэффициент ζ , учитывающий отличие действующего на атом поля от среднего, имеет величину [4, 7]

$$\zeta = \prod_{i=1}^4 \frac{1}{3} (\epsilon_0(\omega_i) + 2)$$

и является причиной необычно большой нелинейной поляризуемости вещества с большим показателем преломления. Нелинейная часть индуцированного дипольного момента может быть выражена через коэффициенты разложения $c_s(\mathbf{R}, t)$ волновой функции атома в поле по состояниям изолированного атома:

$$\mathbf{d}^{NL}(\mathbf{k}, \omega) = \sum_s \{ \mathbf{d}_{0s} c_s^{NL}(\mathbf{k}, \omega - \omega_{s0}) + \mathbf{d}_{s0} c_s^{NL*}(-\mathbf{k}, -\omega + \omega_{s0}) \}, \quad (3.1)$$

$$c_s(\mathbf{k}, \omega) = (2\pi)^{-4} \int d^3R \int dt c_s(\mathbf{R}, t) \exp\{i\omega t - i\mathbf{k}\mathbf{R}\},$$

где учтено, что атомы возбуждаются слабо, $c_s \ll c_0 \approx 1$.

Как известно, в длинноволновом поле уравнение для $c_s(\mathbf{R}, t)$ имеет вид

$$i \frac{\partial c_s(\mathbf{R}, t)}{\partial t} = - \sum_s \mathbf{d}_{ss} \mathbf{E}(\mathbf{R}, t) c_s(\mathbf{R}, t) \exp\{i\omega_{ss} t\}. \quad (3.2)$$

При решении (3.2) будем считать, что переходы 3-2, 2-1 вызваны только резонансными компонентами полей, переходы 0-2 запрещены, высшие уровни E_n ($n \geq 4$) слабо влияют на заселенность уровней E_1, E_2, E_3 . При действии резонансного поля на возбужденные уровни предполагается, что за время жизни возбужденного состояния поле успевает перебросить электрон с одного уровня на другой. Поэтому частота переброса должна быть больше ширины каждого из уровней:

$$\begin{aligned} |V_{21}| &\gg \gamma_1, \gamma_2, & |V_{32}| &\gg \gamma_3, \gamma_2 \\ (V_{21} = -1/2 \mathbf{d}_{21} \mathbf{E}_{01}, & V_{32} = -1/2 \mathbf{d}_{32} \mathbf{E}_{02}). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Учитывая сказанное, можно получить из (3.2) систему уравнений для $c_1(\mathbf{k}, \omega)$, $c_2(\mathbf{k}, \omega)$, $c_3(\mathbf{k}, \omega)$:

$$\begin{aligned} \omega c_3(\mathbf{k}, \omega) &= V_{32}c_2(\mathbf{k} - \mathbf{k}_2, \omega - \varepsilon_2) + U_{30}(\mathbf{k}, \omega), \\ \omega c_2(\mathbf{k}, \omega) &= V_{21}c_1(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1, \omega - \varepsilon_1) + V_{23}c_3(\mathbf{k} + \mathbf{k}_3, \omega + \varepsilon_2), \\ \omega c_1(\mathbf{k}, \omega) &= V_{21}c_2(\mathbf{k} + \mathbf{k}_1, \omega + \varepsilon_1) + U_{10}(\mathbf{k}, \omega), \end{aligned} \quad (3.4)$$

где использовано обозначение

$$U_{n0}(\mathbf{k}, \omega) = -\mathbf{d}_{n0}\mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega)$$

в предположении, что возбуждение атома из основного состояния производится только полем частицы.

Учет конечной энергетической ширины возбужденных уровней можно осуществить, заменяя ωc_s на $(\omega + i\gamma_s)c_s$ в левых частях уравнений (3.4). Пренебрегая шириной уровней, нетрудно получить

$$\begin{aligned} c_3(\mathbf{k}, \omega) &= \frac{1}{\omega} U_{30}(\mathbf{k}, \omega) + \\ &+ \frac{(\omega - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) |V_{32}|^2 U_{30}(\mathbf{k}, \omega) + \omega V_{32} V_{21} U_{10}(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2, \omega - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\omega [(\omega - \varepsilon_2)(\omega - \varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \omega) |V_{21}|^2 + (\omega - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) |V_{32}|^2]} \end{aligned} \quad (3.5)$$

В области частот, близких к ω_{30} ,

$$|\omega - \omega_{30}| \ll \omega,$$

индуцированный в атоме дипольный момент отличается от индуцированного в атоме в отсутствие внешнего поля дипольного момента на величину

$$\begin{aligned} \mathbf{d}^{NL}(\mathbf{k}, \omega) &= \mathbf{d}_{03} c_3^{NL}(\mathbf{k}, \omega - \omega_{30}) = \\ &= \frac{\mathbf{d}_{03} V_{32} V_{21} (\mathbf{d}_{10} \mathbf{E}(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2, \omega - \omega_1 - \omega_2))}{(\omega - \omega_{30})(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_2)(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) - |V_{21}|^2 (\omega - \omega_{30}) - |V_{32}|^2 (\omega - \omega_{30} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Существенным отличием резонансного случая от рассмотренного в предыдущем разделе нерезонансного случая является нелинейная зависимость поляризации от амплитуды внешнего возбуждающего поля, более сложная, чем в (2.1). Поэтому удобно вычислять не нелинейную поляризуемость χ , а непосредственно величину $Q_{ij}(\omega)$, входящую и в выражение для индукции (2.3), и в окончательные результаты (2.10) – (2.17). Все результаты предыдущего раздела, кроме (2.1) и определения $Q_{ij}(\omega, \alpha, \beta, \xi, \eta)$ в (2.4), остаются справедливыми.

Учитывая, что в основном состоянии волновая функция сферически симметрична, $l=0$, $m=0$, будем считать, что возбужденное состояние 2 также имеет $l=0$ и $m=0$. Если направление оси z выбрать по внешнему полю \mathbf{E}_0 , то внешнее поле вызывает резонансные переходы между состоянием 2 и состояниями 1 и 3, в которых $l=1$, $m=0$. Отсюда следует, что

$$\begin{aligned} Q_{ij}(\omega) &= \\ &= \frac{-1}{36 (\omega - \omega_{30})(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_2)(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) - |V_{21}|^2 (\omega - \omega_{30}) - |V_{32}|^2 (\omega - \omega_{30} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)} n_0 \xi E_{01} E_{02} d_{03} d_{32} d_{21} d_{10} \end{aligned} \quad (3.7)$$

где использованы обозначения: d_{ij} – матричный элемент величины er по радиальным волновым функциям состояний i и j ;

$$V_{21}^0 = -\frac{1}{2\sqrt{3}} d_{21} E_{01}, \quad V_{32}^0 = -\frac{1}{2\sqrt{3}} d_{32} E_{02}.$$

В случае точного совпадения частот возбуждающего поля с частотами переходов необходимо учесть конечную энергетическую ширину возбужденных уровней атома. Учет ширины в этом случае дает

$$Q_{ij}(\omega) = \frac{1}{36} \varepsilon_i \varepsilon_j n_0 \zeta E_{01} E_{02} \frac{d_{03} d_{32} d_{21} d_{10}}{(\omega - \omega_{30} - i\Gamma)G}; \quad (3.8)$$

$$G = (\omega - \omega_{30})^2 - |V_{21}^0|^2 - |V_{32}^0|^2 \equiv (\omega - \omega_{30})^2 - \Omega^2,$$

$$\Gamma G = (\omega - \omega_{30})^2 (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3) - \gamma_3 |V_{21}^0|^2 - \gamma_1 |V_{32}^0|^2.$$

Следовательно, в случае $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ энергетическую ширину необходимо учитывать в узкой области частот $\omega - \omega_{30} \sim \Gamma$, $\omega - \omega_{30} \pm \Omega \sim \Gamma$.

4. Интенсивность когерентного высвечивания в резонансном случае

Подставляя значение $Q_{ij}(\omega)$ (3.7) в (2.17), можно получить энергию, уносимую при когерентном высвечивании в направлении \mathbf{n} в телесный угол $d\Omega$ и в интервал частот $d\omega$, в предположении, что внешнее поле вносит малую анизотропию, $\kappa \ll \varepsilon_0$:

$$d\mathcal{E} = \frac{2\pi^3}{9} T \omega^4 d\omega d\Omega \sqrt{\varepsilon} n_0^2 \zeta^2 [ne]^2 |d_{03} d_{10}|^2 |eE^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)|^2. \quad (4.1)$$

$$\frac{|V_{21}^0|^2 |V_{32}^0|^2 2\delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \mathbf{k}\mathbf{v} + \mathbf{k}_1\mathbf{v} + \mathbf{k}_2\mathbf{v})}{[(\omega - \omega_{30})(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_2)(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) - |V_{21}^0|^2(\omega - \omega_{30}) - |V_{32}^0|^2(\omega - \omega_{30} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)]^2}$$

($E^0(\mathbf{k})$ определено в (2.6)). В случае точного резонанса и точной настройки возбуждающего поля следует пользоваться для $Q_{ij}(\omega)$ формулой (3.8), явно учитывающей конечную энергетическую ширину возбужденных уровней:

$$d\mathcal{E} = \frac{2\pi^3}{9} T \omega^4 d\omega d\Omega \sqrt{\varepsilon} n_0^2 \zeta^2 [ne]^2 |d_{03} d_{31}|^2 |eE^0(\mathbf{k} - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)|^2 \cdot \frac{|V_{21}^0|^2 |V_{32}^0|^2}{[(\omega - \omega_{30})^2 + \Gamma^2]G^2} \delta(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \mathbf{k}\mathbf{v} + \mathbf{k}_1\mathbf{v} + \mathbf{k}_2\mathbf{v}). \quad (4.2)$$

Интересно сравнить (4.1), (4.2) с интенсивностью черенковского излучения в среде с $\varepsilon - 1 \sim 1$. Рассматривая не очень малые углы вылета излучения $\theta \sim 1$, нетрудно видеть, что отношение излученных в интервал частот $d\omega$ энергий в случае когерентного высвечивания в поле и в случае излучения Вавилова — Черенкова, вообще говоря, имеет величину

$$\frac{d\mathcal{E}}{d\mathcal{E}_{\text{ВЧ}}} \sim (n_0 r_{\text{ат}})^2 \left(\frac{\omega_{\text{ат}}}{\Delta\omega} \right)^2, \quad (4.3)$$

где $r_{\text{ат}}$ — размер, порядка атомного, $\Delta\omega$ — максимальная из величин $\omega - \omega_{30}$, $\omega_{32} - \omega_2$, $\omega_{21} - \omega_1$, G , γ_1 , γ_2 , γ_3 .

Отсюда, в частности, следует, что, например, даже в газе ($n_0 \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$) интенсивность когерентного высвечивания в поле одного порядка с интенсивностью черенковского излучения в плотной ($\varepsilon - 1 \sim 1$) среде, если длина волны возбуждающего поля в видимой области отличается от длины волны испускаемого атомом излучения на величину, не большую чем 100 Å. Уменьшение расстройки резонанса возбуждающего поля или увеличение плотности среды увеличивают интенсивность коге-

рентного высвечивания в поле, так что последняя может превышать интенсивность излучения Вавилова — Черенкова. Имеющиеся в литературе данные [⁸⁻¹⁰] показывают, что существуют возможности такого подбора частот возбужденного когерентного излучения, который обеспечивает интенсивность когерентного высвечивания большую, чем интенсивность черенковского излучения в среде с $\epsilon - 1 \sim 1$. Конкретное рассмотрение вариантов оптимального выбора рабочего вещества и источников возбуждающего поля будет проведено отдельно.

В заключение пользуюсь приятной возможностью поблагодарить И. И. Гуревича и Б. А. Долгошеина за интересные замечания.

Московский инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
13 февраля 1973 г.

Литература

- [1] И. Е. Тамм, И. М. Франк. ДАН СССР, **14**, 107, 1937.
- [2] М. И. Рязанов. Письма в ЖЭТФ, **15**, 437, 1972.
- [3] С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов. Проблемы нелинейной оптики, М., 1964.
- [4] Н. Бломберген. Нелинейная оптика, «Мир», 1966.
- [5] В. М. Файн. Квантовая радиофизика, «Советское радио», 1972.
- [6] P. D. McWane, D. A. Sealer. Appl. Phys. Lett., **8**, 278, 1966.
- [7] P. D. Maker, R. W. Terhune. Phys. Rev., **137**, A801, 1965.
- [8] А. Р. Стриганов, Н. С. Свентицкий. Таблицы спектральных линий, М., 1966.
- [9] Z. Kiss, R. Pressley. Proc. IEEE, **54**, 7, 1966.
- [10] A. Bloom. Proc. IEEE, **54**, 39, 1966.

COHERENT LIGHT EMISSION BY ATOMS EXCITED BY FAST PARTICLES IN AN ELECTROMAGNETIC FIELD

M. I. Ryazanov

It is shown that the directions of the coherent light emission in a system of atoms excited by fast particles appear due to the electromagnetic wave field. The direction of the coherent waves is rigidly related to the frequency of the radiation, velocity of the particle and characteristics of the electromagnetic wave. Resonance between the wave frequency and frequency of transition between two atomic excited states is investigated. The possibility of employing coherent emission for measuring the energy of fast particles is discussed.

ПРЕДЕЛЫ ПРИМЕНИМОСТИ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.И.Рязанов

Показано, что условия применимости макроскопической электродинамики для описания переходного излучения более жесткие, чем для распространения поля в веществе. Это может сказаться в случае переходного излучения нерелятивистских частиц или при скользящем падении заряда на поверхность раздела сред.

1. Переходное излучение, возникающее при пересечении поверхности раздела сред равномерно движущимся зарядом, обычно рассматривается с помощью макроскопической электродинамики¹⁻³. Цель настоящего сообщения – обратить внимание на то, что для применимости такого рассмотрения недостаточно малости волнового вектора k излученной волны по сравнению с обратным межатомным расстоянием b^{-1} ,

$$k b \ll 1. \quad (1)$$

При заданном k условие применимости макроскопического описания для собственного поля равномерно движущегося заряда

$$E_0(\mathbf{r}, t) = \int d^3q \int d\omega E_0(\mathbf{q}) \delta(\omega - \mathbf{q}\mathbf{v}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r} - i\omega t) \quad (2)$$

может оказаться более жестким, чем (1). Нетрудно получить такое условие из следующих соображений. Переходное излучение возникает в результате отражения и преломления собственного поля заряда от поверхности раздела сред $z = 0$. Сохранение частоты поля и тангенциальных к плоскости раздела компонент волнового вектора при отражении и преломлении приводит к равенствам:

$$q_x = k_x; \quad q_y = k_y; \quad \mathbf{q}\mathbf{v} = \omega; \quad q_z = (\omega - k_x v_x - k_y v_y) / v_z. \quad (3)$$

Эти соотношения и определяют эффективную для излучения кванта фурье-компоненту собственного поля, для которой нужно потребовать применимости макроскопического описания. Из (1) и (3) следует $bq_x \ll 1$ и $bq_y \ll 1$, так что остается потребовать $bq_z \ll 1$, т. е.

$$(\omega - k_x v_x - k_y v_y) (b/v_z) \ll 1. \quad (4)$$

Применимость макроскопической электродинамики к процессу переходного излучения обеспечивается одновременным выполнением (1) и (4). Невыполнение хотя бы одного из этих условий делает макроскопическое рассмотрение некорректным.

2. Нарушение условия (4) при выполнении условия (1) возможно при малых v_z , т. е. для нерелятивистских частиц или при скользящем падении заряда на плоскость раздела сред (скорость заряда почти параллельна плоскости). Заметим, что в ряде работ переходное излучение при скользящем падении рассматривалось макроскопически, считая выполненным условие (1), но не формулируя полных условий применимости макроскопической теории (1) и (4). Область применимости таких результатов должна определяться дополнительно с помощью условия (4). Интересно отметить, что несовпадение результатов макроскопической теории с данными экспериментов по переходному излучению нерелятивистских (от 100 до 40 кэВ) электронов при их скользящем падении на поверхность серебра было обнаружено более 10 лет назад ⁴. Расхождение с макроскопической теорией наблюдалось вне области применимости этой теории, при нарушении условия (4).

3. Если выполнено условие (1) и нарушается условие (4), то переходное излучение следует рассматривать микроскопически несмотря на большую длину волны излучаемого поля. Для этого в микроскопические уравнения Максвелла нужно включить плотность микротоков \mathbf{j}_M , индуцируемую в веществе полем движущегося заряда. Для частот, больших по сравнению с атомными, можно вычислить \mathbf{j}_M аналогично тому, как это делается в теории дифракции рентгеновских лучей ⁵:

$$\mathbf{j}_M(\mathbf{r}, \omega) = (ie^2/m\omega)n(\mathbf{r})\mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega), \quad (5)$$

где $n(\mathbf{r})$ – плотность числа электронов в веществе, усредненная по квантовомеханическому электронному состоянию и по тепловому движению атомов. Характерного для макроскопической электродинамики усреднения по физически бесконечно малому объему здесь не проводится, а учитываются неоднородности, связанные с концентрацией электронов в атомах.

4. В области больших частот величину \mathbf{j}_M можно считать малой и использовать для решения уравнений Максвелла метод последовательных приближений. Тогда решение в нулевом приближении ($\mathbf{j}_M = 0$) есть собственное поле (2) равномерно движущегося в вакууме заряда, где

$$\mathbf{E}_0(\mathbf{q}) = (ie/2\pi^2)(\mathbf{v}(\mathbf{q}\mathbf{v}) - \mathbf{q})(q^2 - (\mathbf{q}\mathbf{v})^2)^{-1}. \quad (6)$$

Уравнения для поля первого приближения $\mathbf{E}_1 = \mathbf{E} - \mathbf{E}_0$ имеют вид системы уравнений Максвелла в вакууме с заданной плотностью тока

$$\mathbf{j}_M(\mathbf{r}, \omega) = (ie^2/m\omega)n(\mathbf{r})\mathbf{E}_0(\mathbf{r}, \omega),$$

обращающейся в нуль вне вещества, в полупространстве $z > 0$. Энергия переходного излучения в интервале частот $d\omega$ в элементе телесного угла $d\Omega$ (направленного вдоль единичного вектора \mathbf{n}) дается формулой

$$d^2 E(\mathbf{n}, \omega) = (e^4/m^2)d\omega d\Omega \int d^3 q' \int d^3 q'' [n\mathbf{E}_0(\mathbf{q}')] [n\mathbf{E}_0^*(\mathbf{q}'')] \delta(\omega - \mathbf{q}'\mathbf{v}) \cdot \\ \cdot \delta(\omega - \mathbf{q}''\mathbf{v}) \int_{z' < 0} d^3 r' \int_{z'' < 0} d^3 r'' n(\mathbf{r}') n(\mathbf{r}'') \exp\{-i(\mathbf{k} - \mathbf{q}')\mathbf{r}' + i(\mathbf{k} - \mathbf{q}'')\mathbf{r}''\}. \quad (7)$$

Это выражение должно быть усреднено по флуктуациям электронной плотности. Используем для усреднения известное равенство ($n_0 = \langle n \rangle$)

$$\langle n(\mathbf{r}') n(\mathbf{r}'') \rangle = n_0^2 w(\mathbf{r}' - \mathbf{r}'') + n_0 \delta(\mathbf{r}' - \mathbf{r}''), \quad (8)$$

где

$$w(\mathbf{r}' - \mathbf{r}'') = \int d^3 s g(\mathbf{s}) \exp(i\mathbf{s}\mathbf{r}' - i\mathbf{s}\mathbf{r}'') \quad (9)$$

— вероятность одному электрону находиться в точке \mathbf{r}' , а второму — в точке \mathbf{r}'' . Отметим, что линейное по n_0 слагаемое в (8) после подстановки в (7) приводит к выражению для переходного излучения на неоднородностях внутри вещества, не связанного с наличием поверхности раздела и исследованного теоретически в ⁶ и ². Поэтому ниже мы учтем лишь квадратичные по n_0 слагаемые в (8), которые непосредственно относятся к интересующему

нас переходному излучению при пересечении зарядом плоскости раздела вещества с вакуумом. Усреднение (7) с использованием (8) приводит к выражению

$$\frac{d^2 E(\mathbf{n}, \omega)}{d\omega d\Omega} = \frac{n_0^2 e^4}{m^2 v_z^2} \int \frac{d^3 s g(\mathbf{s})}{(Q + s_z - k_z)^2} \left| [\mathbf{n} E_0(\mathbf{k}_t - \mathbf{s}_t + \mathbf{Q})] \right|^2 (2\pi)^4, \quad (10)$$

в котором через k_t и s_t обозначены тангенциальные к поверхности компоненты векторов \mathbf{k} и \mathbf{s} , вектор \mathbf{Q} направлен вдоль оси z и $Q = (\omega - k_x v_x - k_y v_y) / v_z$. Формальное применение макроскопической теории к той же задаче соответствует замене $g(\mathbf{s}) \rightarrow \delta(\mathbf{s})$ и дает вместо (10):

$$\left(\frac{d^2 E(\mathbf{n}, \omega)}{d\omega d\Omega} \right)_M = \frac{n_0^2 e^4}{m^2 v_z^2} \frac{1}{(Q - k_z)^2} \left| [\mathbf{n} E_0(\mathbf{k}_t + \mathbf{Q})] \right|^2 (2\pi)^4. \quad (11)$$

Функция $w(\mathbf{r})$ эффективно меняется на расстояниях порядка среднего межатомного расстояния b . Поэтому эффективные значения s в $g(\mathbf{s})$ порядка b^{-1} . Отсюда следует, что максимальное отличие микроопического результата (10) от макроскопического (11) должно быть при $Qb \sim 1$.

В заключение пользуюсь возможностью поблагодарить В.Л.Гинзбурга за полезные замечания.

Литература

1. Гинзбург В.Л. Теоретическая физика и астрофизика. М.: Наука, 1981.
2. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1969.
3. Гарибян Г.М., Ян Ши. Рентгеновское переходное излучение, Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1983.
4. Арутюнян Ф.Р., Мхитарян А.Х., Оганесян Р.А., Ростомян Р.О. Оптика и спектроскопия, 1974, 36, 1152.
5. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред, М.: Наука, 1982.
6. Капица С.П. ЖЭТФ, 1960, 39, 1367.

Московский
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
26 января 1984 г.
После переработки
19 марта 1984 г.

Цитирование научных трудов

Количество цитирований – 319

Индекс Хирша – 10

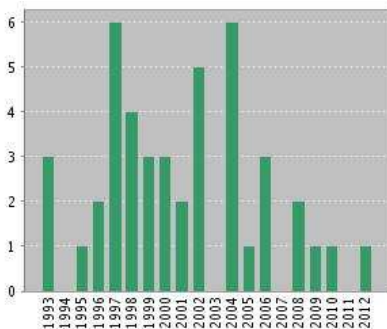
Среднее цитирование на одну ссылку – 3,16

Отчет по цитированию подготовлен по БД Web of Knowledge

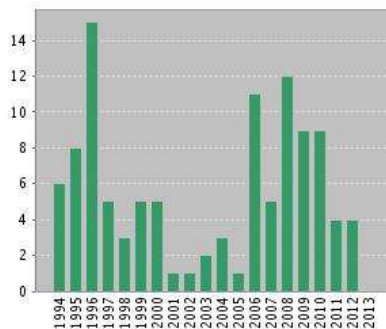
13.06.2013 г., <http://isiknowledge.com>. Поисковый запрос:

Author = (RYAZANOV M OR RYAZANOV MI OR RYAZANOV MIKHAIL OR RIAZANOV M OR RIAZANOV MI).

Published Items in Each Year













Citations in Each Year






- Results found: 101
- Sum of the Times Cited : 319
- Sum of Times Cited without self-citations : 265
- Citing Articles : 236
- Citing Articles without self-citations : 196
- Average Citations per Item : 3.16
- h-index : 10

Десять самых цитируемых статей:

		2009	2010	2011	2012	2013	Total	Average Citations per Year
	Publications	9	9	4	4	0	319	7.60
	1. Title: ENERGY AND ANGULAR-DISTRIBUTION OF REFLECTED PARTICLES FROM A BEAM INCIDENT ON A SURFACE AT GLANCING ANGLES Author(s): REMIZOVICH, VS; RYAZANOV, MI; TILININ, IS Source: ZHURNAL EKSPERIMENTALNOI I TEORETICHESKOI FIZIKI Volume: 79 Issue: 2 Pages: 448-458 Published: 1980	0	0	0	0	0	29	0.85
	2. Title: PROPAGATION OF A NARROW MODULATED BEAM OF LIGHT IN A SCATTERING MEDIUM TAKING INTO ACCOUNT FLUCTUATIONS OF PHOTON TRACES AT MULTIPLE-SCATTERING Author(s): REMIZOVICH, VS; ROGOZKIN, DB; RYAZANOV, MI Source: IZVESTIYA VYS-SHIKH UCHEBNIKH ZA-VEDENII RADIOFIZIKA Volume: 25 Issue: 8 Pages: 891-898 Published: 1982	0	1	0	0	0	20	0.62
	3. Title: MULTIPLE-SCATTERING THEORY FOR FAST ELECTRONS IN SINGLE-CRYSTALS AND KIKUCHI PATTERNS Author(s): DUDAREV, SL; RYAZANOV, MI Source: ACTA CRYSTALLOGRAPHICA SECTION A Volume: 44 Pages: 51-61 DOI: 10.1107/S0108767387008389 Part: Part 1 Published: JAN 1 1988	0	0	0	0	0	17	0.65
	4. Title: DYNAMIC EFFECTS OF THERMAL DIFFUSE-SCATTERING IN RHEED Author(s): DUDAREV, SL; PENG, LM; RYAZANOV, MI Source: ACTA CRYSTAL-	0	0	0	0	0	16	0.70

		2009	2010	2011	2012	2013	Total	Average Citations per Year
	Publications	9	9	4	4	0	319	7.60
	LOGRAPHICA SECTION A Volume: 47 Pages: 170-176 DOI: 10.1107/S0108767390011680 Part: 3 Published: MAY 1 1991							
	5. Title: LIGHT-PULSE PROPAGATION IN TURBID MEDIUM Author(s): REMIZOVICH, VS; ROGOZKIN, DB; RYAZANOV, MI Source: IZVESTIYA AKADEMII NAUK SSSR FIZIKA ATMOSFER Y OKEANA Volume: 19 Issue: 10 Pages: 1053-1061 Published: 1983	1	1	1	1	0	15	0.48
	6. Title: SOLUTION OF THE QUANTUMKINETIC EQUATION IN THE LOCAL-EIKONAL APPROXIMATION Author(s): DUDAREV, SL; RYAZANOV, MI Source: ZHURNAL EKSPERIMENTALNOI I TEORETICHESKOI FIZIKI Volume: 88 Issue: 2 Pages: 631-641 Published: 1985	0	0	0	0	0	13	0.45
	7. Title: ELASTIC-SCATTERING OF FAST CHARGED-PARTICLES IN A SINGLE-CRYSTAL Author(s): KALASHNI.NP; KOPTELOV, EA; RYAZANOV, MI Source: ZHURNAL EKSPERIMENTALNOI I TEORETICHESKOI FIZIKI Volume: 63 Issue: 3 Pages: 1107-1114 Published: 1972	0	0	0	0	0	12	0.29
	8. Title: COHERENT EFFECTS IN BACKSCATTERING OF WAVES FROM A MEDIUM WITH RANDOM INHOMOGENEITIES Author(s): GORODNICHEV, EE; DUDAREV, SL; ROGOZKIN, DB; et al. Source: ZHURNAL EKSPERIMENTALNOI I TEORETICHESKOI FIZIKI Volume: 93 Issue: 5 Pages:	0	0	0	0	0	11	0.41

		2009	2010	2011	2012	2013	Total	Average Citations per Year
	Publications	9	9	4	4	0	319	7.60
	1642-1653 Published: NOV 1987							
	9. Title: EFFECTS OF INTERFERENCE IN TRANSIENT RADIATION Author(s): Ryazanov, MI; Safronov, AN Source: LASER PHYSICS Volume: 6 Issue: 4 Pages: 708-712 Published: JUL-AUG 1996	3	0	2	1	0	10	0.56
	10. Title: RECIPROCAL INFLUENCE OF 2-WAVE DIFFRACTION AND NONCOHERENT SCATTERING OF A CHARGED-PARTICLE IN A MONOCRYSTAL Author(s): DUDAREV, SL; RYAZANOV, MI Source: ZHURNAL EKSPERIMENTALNOI I TEORETICHESKOI FIZIKI Volume: 85 Issue: 5 Pages: 1748-1756 Published: 1983	0	0	0	0	0	10	0.32

Монографии, учебные пособия, отдельные издания

1. Diffraction radiation from relativistic particles / A. P. Potylitsyn [et al.]. – Berlin Heidelberg : Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 277 с. – (Springer tracts in modern physics. Vol.239).
2. Kalashnikov N. P. Collisions of Fast Charged Particles in Solids / N. P. Kalashnikov, V. S. Remizovich, M. I. Ryazanov. – New York : Gordon & Breach Publishing Group, 1985. – 438 p.
3. Андреев С.П. Диффузия, дрейф и электропроводность в полупроводниках : учеб. пособие / С. П. Андреев, А. И. Руденко, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1983. – 100 с.
4. Андреев С.П. Полупроводники в сильных полях : учеб. пособие / С. П. Андреев, М. И. Руденко, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1984. – 66 с.
5. Взаимодействие быстрых частиц с поверхностью твердого тела : Физические процессы в субмонослойных пленках: учебное пособие / ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 34 с.
6. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами : учеб. пособие / Ю. П. Добрецов [и др.] ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 73 с.
7. Взаимодействие частиц с веществом : конспекты лекций / ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1977. – 100 с.
8. Влияние ионизирующих излучений на свойства диэлектриков и полупроводников / ред. М. И. Рязанов; МИФИ. – М. : Атомиздат. Вып.1. – 1979. – 140 с.
9. Всесоюзная школа по теоретической и ядерной физике (3-я сессия ; 1972 ; Москва). Излучение в веществе при высоких энергиях / М. И. Рязанов ; Всесоюзная школа по теоретической и ядерной физике. – М. : МИФИ, 1972. – 33 с.
10. Дифракционное излучение релятивистских частиц : учебное пособие / А.П. Потылицын [и др.]. – Томск : ТПУ, 2008. – 346 с.
11. Исследование поверхностных и объемных свойств твердых тел по взаимодействию частиц : сборник статей / ред. М. И. Рязанов; МИФИ. – М. : Энергоиздат, 1981. – 115 с.

12. Калашников Н. П. Взаимодействие ядерных излучений с монокристаллами : учебное пособие для вузов / Н. П. Калашников, А. С. Ольчак ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 58 с.
13. Калашников Н. П. Взаимодействие ядерных частиц с монокристаллами : конспект лекций / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов, В. П. Смилга ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1976. – 80 с.
14. Калашников Н. П. Столкновения быстрых заряженных частиц в твердых телах / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов. – М. : Атомиздат, 1980. – 272 с.
15. Многочастичные эффекты в твердых телах / МИФИ ; ред. М. И. Рязанов. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 140 с.
16. Ремизович В.С. Теория обратного рассеяния быстрых заряженных частиц при наклонном падении на поверхность вещества : тексты лекций / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин. – М. : МИФИ, 1982. – 75 с.
17. Ремизович В.С. Флуктуации пробегов заряженных частиц / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 239 с.
18. Рязанов М. И. Радиационно-индуцированные явления в конденсированных средах : учебное пособие / М. И. Рязанов, В. Г. Барышевский ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 43 с.
19. Рязанов М. И. Введение в электродинамику конденсированного вещества / М. И. Рязанов. – М. : Физматлит, 2002. – 320 с.
20. Рязанов М. И. Исследование поверхности по обратному рассеянию частиц / М. И. Рязанов, И. С. Тилинин. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 150 с.
21. Рязанов М. И. Электродинамика конденсированного вещества : учеб. пособие для вузов / М. И. Рязанов. – М. : Наука, 1984. – 304 с.
22. Франк И.М. Взаимодействие ядерных частиц с твердым телом : конспекты лекций: учебное пособие / И. М. Франк, М. Г. Землянов, Н. А. Черноплеков ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1976. – 83 с.

Хронологический указатель трудов

1954

1. Рязанов М. И. Взаимодействие пи-мезонов с ядрами (обзор) / М. И. Рязанов // Проблемы современной физики: сборник переводов и обзоров иностранной периодической литературы. – М. : Издательство иностранной литературы, 1954. – № 8: Пи-мезоны.

1955

2. Рязанов М. И. Новые данные о рассеянии поляризованных протонов большой энергии / М. И. Рязанов // Успехи физических наук. – 1955. – Т. 55, вып. 1. – С. 122–125.

1957

3. Рязанов М. И. Феноменологический учет влияния непроводящей среды в квантовой электродинамике / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1957. – Т. 32, вып. 5. – С. 1244–1246.

1958

4. Рязанов М. И. Ковариантная формулировка феноменологической квантовой электродинамики / М. И. Рязанов // Некоторые вопросы теоретической физики: сборник статей. – М. : Атомиздат, 1958. – С. 75–86.

5. Рязанов М. И. Радиационные поправки к комптоновскому рассеянию с учетом влияния окружающей среды / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1958. – Т. 34, вып. 5. – С. 1258–1266.

6. Рязанов М. И. Учет поляризации окружающей среды в высших приближениях теории возмущений в квантовой электродинамике

намике : дис... канд. физ.-мат. наук / М. И. Рязанов ; науч. рук. Е. Л. Фейнберг. – М. : МИФИ, 1958. – 88 с.

1960

7. Рязанов М. И. О процессах с передачей импульса среде / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1960. – Т. 38, вып. 3. – С. 854–862.

1962

8. Рязанов М.И. Комбинационное излучение при равномерном движении заряда в однородной среде / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1962. – Т. 43, вып. 4(10). – С. 1559–1561.

1963

9. Калашников Н. П. Ионизационные потери в неоднородной среде / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1963. – Т. 45, вып. 2(8). – С. 325–332.

10. Рязанов М. И. Излучение фотона быстрой частицей при взаимодействии с элементарными возбуждениями в веществе / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1963. – Т. 45, вып. 2(8). – С. 333–336.

11. Рязанов М. И. Применение методов квантовой теории поля к кулоновскому рассеянию заряженных частиц в веществе / М. И. Рязанов // Применение методов квантовой теории поля к задачам многих тел: сборник статей. – М. : Госатомиздат, 1963. – С. 114–129.

12. Рязанов М. И. Распад частиц сверхвысокой энергии в конденсированном веществе / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1963. – Т. 44, вып. 1. – С. 355–360.

1964

13. Калашников Н. П. Квантовая теория рассеяния частиц в веществе без использования кинетического уравнения / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1964. – Т. 47, вып. 3(9). – С. 1055–1064.

1965

14. Ryazanov M. I. Raman Radiation of a Uniformly Moving Charge / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1965. – Vol. 21, 5. – P.997–1002.

15. Рязанов М.И. Комбинационное излучение равномерно движущегося заряда / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1965. – Т. 48, вып. 5. – С. 1490–1498.

1966

16. Kalashnikov N. P. Angular Distribution of Bremsstrahlung Radiation and the Landau–Pomeranchuk Effect / N. P. Kalashnikov, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1966. – Vol. 23, 3. – P.523–525.

17. Kalashnikov N. P. Multiple Scattering of Electromagnetic Waves in an Inhomogeneous Medium / N. P. Kalashnikov, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1966. – Vol. 23, 2. – P. 306–313.

18. Kalashnikov N. P. Quantum Effects in Multiple Scattering / N. P. Kalashnikov, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1966. – Vol. 23, 1. – P. 79–83.

19. Калашников Н. П. Быстрая заряженная частица во внешнем электромагнитном поле / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Взаимодействие излучения с веществом: сборник статей. – М. : Атомиздат, 1966. – С. 162–166.

20. Калашников Н. П. Квантовые эффекты в многократном рассеянии / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Журнал экспери-

ментальной и теоретической физики. – 1966. – Т. 50, вып. 1. – С. 117–123.

21. Калашников Н. П. Многократное рассеяние электромагнитных волн в неоднородной среде / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1966. – Т. 50, вып. 2. – С. 459–471.

22. Калашников Н. П. Угловое распределение тормозного излучения с учетом эффекта Ландау-Померанчука / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1966. – Т. 50, вып. 3. – С. 791–794.

23. Калашников Н. П. Энергетически угловое распределение тормозного излучения в мишени с учетом эффекта Ландау-Померанчука / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Взаимодействие излучения с веществом: сборник статей. – М. : Атомиздат, 1966. – С. 148–161.

24. Калашников Н. П. Некоторые вопросы квантовой теории многократного рассеяния и тормозного излучения заряженной частицы в веществе при высоких энергиях : дис... канд. физ.-мат. наук / Н. П. Калашников ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1966. – 104 с.

25. Манькин Э. А. О нелинейных оптических эффектах на кратных резонансах / Э. А. Манькин, М. И. Рязанов // Взаимодействие излучения с веществом: сборник статей. – М. : Атомиздат, 1966. – С. 123–128.

26. Обзор литературы по взаимодействию альфа и бета-излучения с твердыми телами и газовыми потоками : отчет о НИР по теме №69–3–193 за 1 этап / рук. работы М. И. Рязанов ; исполн. Н. П. Калашников [и др.]. – М. : МИФИ, 1966. – 56 с.

27. Прохождение ионизирующих излучений через неоднородности в защите : в 2 т. Т.1 / рук. работы: О. И. Лейпунский, В. П. Машкович ; исполн. В. А. Климанов [и др.]. – М. : МИФИ, 1966. – 235 с.

28. Прохождение ионизирующих излучений через неоднородности в защите : в 2 т. Т.2 / рук. работы: О. И. Лейпунский, В. П. Машкович ; исполн. В. А. Климанов [и др.]. – М. : МИФИ, 1966. – 154 с.

29. Рязанов М. И. Рассеяние заряженных частиц и фотонов в веществе и его влияние в процессах взаимодействия частиц : дис... д-ра физ.-мат. наук / М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1966. – 148 с.

1967

30. Kalashnikov N. P. Bremsstrahlung Spectrum of a Fast Electron in a Single Crystal / N. P. Kalashnikov, M. I. Ryazanov // *JETP Letters*. – 1967. – Vol. 6, 4. – P. 110–111.

31. Калашников Н. П. О спектре тормозного излучения быстрого электрона в монокристалле / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // *Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1967. – Т. 6, вып. 4. – С. 609–610.

32. Рязанов М. И. О нелинейных оптических эффектах в периодически неоднородной среде / М. И. Рязанов // *III Всесоюзный симпозиум по нелинейной оптике: тезисы докладов*. – Ереван, 1967.

1968

33. Kalashnikov N. P. Scattering of Charged Particles in a Thin Single Crystal / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1968. – Vol. 27, 3. – P. 441–442.

34. Kudryavtsev V. G. Angular Distribution of Charged Particles in Pair Production by Photons and the Effect of Multiple Scattering / V. G. Kudryavtsev, N. P. Kalashnikov, M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1968. – Vol. 27, 1. – P. 99–101.

35. Калашников Н. П. О рассеянии заряженных частиц в тонком монокристалле / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов, Ф. Н. Чуховский // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1968. – Т. 54, вып. 3. – С. 822–825.

36. Кудрявцев В. Г. Угловое распределение заряженных частиц в процессе образования пары фотоном с учетом многократного рассеяния / В. Г. Кудрявцев, Н. П. Калашников, М. И. Рязанов

нов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1968. – Т. 54, вып. 1. – С. 183–187.

1969

37. Kudryavtsev V. G. Removal of Infrared Divergences in Radiative Corrections / V. G. Kudryavtsev, N. P. Kalashnikov, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1969. – Vol. 29, 5. – P. 878–879.

38. Вопросы, связанные с прохождением электронов через твердые тела и газы : отчет о НИР по теме №69–3–198 за 2 этап / рук. работы М. И. Рязанов ; исполн. Н. П. Калашников [и др.]. – М. : МИФИ, 1969. – 82 с.

39. Кудрявцев В. Г. Об устранении инфракрасных расходимостей в радиационных поправках / В. Г. Кудрявцев, Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1969. – Т. 56, вып. 5. – С. 1640–1643.

40. Прохождение бета-частиц через твердые тела и газы : отчет о НИР по теме №69–3–198 за 3–4 этапы / рук. работы М. И. Рязанов; исполн. А. В. Берков [и др.]. – М. : МИФИ, 1969. – 102 с.

1970

41. Kudryavtsev V. G. Choice of Optimal Conditions for Experimental Observation of Coherent Scattering of Gamma Quanta by Nuclei / V. G. Kudryavtsev, M. I. Ryazanov // JETP Letters. – 1970. – Vol. 12, 3. – P. 109–111.

42. Kudryavtsev V. G. Photon Emission by Fast Charged Particles in a Single Crystal / V. G. Kudryavtsev, M. I. Ryazanov // JETP Letters. – 1970. – Vol. 11, 10. – P. 344–346.

43. Кудрявцев В. Г. О выборе оптимальных условий экспериментального наблюдения когерентного рассеяния гамма-квантов на ядрах / В. Г. Кудрявцев, М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1970. – Т. 12, вып. 3. – С. 157–158.

44. Кудрявцев В. Г. Об излучении фотонов быстрыми заряженными частицами в монокристалле / В. Г. Кудрявцев, М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1970. – Т. 11, вып. 10. – С. 503–505.

1971

45. Kalashnikov N. P. Distribution of Energy Losses for Heavy Positive Particles in a Single Crystal / N. P. Kalashnikov, V. S. Remizovich, M. I. Ryzanov // JETP Letters. – 1971. – Vol. 13, 12. – P. 508–510.

46. Калашников Н. П. Влияние эффекта каналирования на неупругие взаимодействия тяжелых положительно заряженных частиц / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Всесоюзная конференция «Физические основы ионно-лучевого легирования»: тезисы докладов. – Горький, 1971.

47. Калашников Н. П. О флуктуациях функции распределения вероятности для энергии, переданной заданному объему ионизирующим излучением / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Симпозиум МАГАТЭ «Биофизические аспекты качества излучений»: сборник научных трудов. – Сидней, Австралия, 1971.

48. Калашников Н. П. Распределение энергетических потерь для тяжелых положительных частиц в монокристалле / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1971. – Т. 13, вып. 12. – С. 715–718.

49. Кудрявцев В. Г. Некоторые процессы электромагнитного взаимодействия заряженных частиц и фотонов высокой энергии в среде: дис... канд. физ.-мат. наук / В. Г. Кудрявцев; науч. рук. М. И. Рязанов. – М.: МИФИ, 1971. – 102 с.

1972

50. Kalashnikov N. P. Destructive Interference in the Scattering of Fast Electrons in a Single Crystal / N. P. Kalashnikov, E. A. Koptelov, M. I. Ryzanov // JETP Letters. – 1972. – Vol. 15, 2. – P. 83–85.

51. Ryazanov M. I. Detection of Fast Particles by the Deflection of Electromagnetic Waves in a Train of Excited States of Atoms Accompanying the Particle / M. I. Ryazanov // JETP Letters. – 1972. – Vol. 15, 7. – P. 310–313.

52. Влияние оптически–неоднородной среды на когерентность лазерного излучения и возможность получения голографического изображения / Ю. А. Быковский [и др.] // Журнал технической физики. – 1972. – Т. 42, № 4. – С. 830–836.

53. Всесоюзная школа по теоретической и ядерной физике (3–я сессия; 1972; Москва). Излучение в веществе при высоких энергиях / М. И. Рязанов ; Всесоюзная школа по теоретической и ядерной физике. – М. : МИФИ, 1972. – 33 с.

54. Калашников Н. П. О происхождении ориентационных максимумов в спектре тормозного излучения нерелятивистских электронов в монокристалле / Н. П. Калашников, Э. А. Коптелов, М. И. Рязанов // Физика твердого тела. – 1972. – Т. 14, вып. 4. – С. 1211–1213.

55. Калашников Н. П. О спектре тормозного излучения нерелятивистских электронов в монокристалле / Н. П. Калашников, Э. А. Коптелов, М. И. Рязанов // III Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами: сборник научных трудов. – М. : МГУ, 1972. – С. 204–207.

56. Калашников Н. П. Распределение энергетических потерь для тяжелых положительно заряженных частиц в монокристалле / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // III Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами : сборник научных трудов. – М. : МГУ, 1972. – С. 36–40.

57. Калашников Н. П. Упругое рассеяние быстрых заряженных частиц в монокристалле / Н. П. Калашников, Э. А. Коптелов, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1972. – Т. 63, вып. 3(9). – С. 1107–1114.

58. Калашников Н. П. Деструктивная интерференция при рассеянии быстрых электронов в монокристалле / Н. П. Калашников, Э. А. Коптелов, М. И. Рязанов // Письма в журнал эксперимен-

тальной и теоретической физики. – 1972. – Т. 15, вып. 2. – С. 120–122.

59. Руденко А. И. Нелинейная теория нестационарного тока-переноса в твердых телах : дис... канд. физ.-мат. наук / А. И. Руденко ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1972. – 103 с.

60. Рязанов М. И. О детектировании быстрых частиц по отклонению электромагнитных волн в шлейфе возбужденных состояний атомов, сопровождающем частицу / М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1972. – Т. 15, вып. 7. – С. 437–440.

61. Теоретическое исследование импульсного излучения антенн специального вида : отчет о НИР по теме №72–3–193А за 1 этап / рук. работы А. И. Алексеев ; отв. исполн. В. А. Базылев [и др.]. – М. : МИФИ, 1972. – 94 с.

1973

62. Kalashnikov N. P. Elastic Scattering of Fast Charged Particles in a Single Crystal / N. P. Kalashnikov, E. A. Koptelov, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1973. – Vol. 36, 3. – P. 583–587.

63. Калашников Н. П. О флуктуациях функции распределения в теории переноса частиц / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Вопросы микродозиметрии. Труды первого Всесоюзного совещания по микродозиметрии / ред.: В. И. Иванов, А. Н. Кронгауз. – М. : Атомиздат, 1973. – С. 31–35.

64. Калашников Н. П. Распределение для энергии, переданной сферическому объему вещества потоком заряженных частиц в приближении Ландау / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Вопросы микродозиметрии. Труды первого Всесоюзного совещания по микродозиметрии / ред.: В. И. Иванов, А. Н. Кронгауз. – М. : Атомиздат, 1973. – С. 36–40.

65. Когерентное излучение модулированного пучка электронов : деп. ВИНТИ №5252–72 / Н. П. Калашников [и др.] // Радиотехника и электроника. – 1973. – Т. 18, № 5. – С. 1095.

66. Коптелов Э.А. Ориентационные эффекты при интерференционном рассеянии быстрых заряженных частиц в монокристаллах : дис... канд. физ.-мат. наук / Э. А. Коптелов ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1973. – 99 с.

67. Ремизович В. С. Квантовомеханический подход к теории переноса заряженных частиц в веществе / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Вопросы микродозиметрии. Труды первого Всесоюзного совещания по микродозиметрии / ред.: В. И. Иванов, А. Н. Кронгауз. – М. : Атомиздат, 1973. – С. 41–48.

68. Рязанов М. И. Когерентное высвечивание возбужденных быстрой частицей атомов вещества в электромагнитном поле / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1973. – Т. 65, вып. 1(7). – С. 123–131.

1974

69. Ryazanov M. I. Coherent Light Emission by Atoms Excited by Fast Particles in an Electromagnetic Field / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1974. – Vol. 38, 1. – P. 61–64.

70. Андреев С. П. Комбинационное излучение заряда в возбужденном резонансным полем веществе / С. П. Андреев, М. И. Рязанов // Доклады Академии наук СССР. – 1974. – Т. 215, № 4. – С. 807–809.

71. Андреев С. П. К теории излучения заряженных частиц в веществе в электромагнитных полях : дис... канд. физ.-мат. наук / С. П. Андреев ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1974. – 90 с.

72. Калашников Н. П. Образование электрон-позитронных пар в монокристалле / Н. П. Калашников, М. И. Рязанов // V Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами: сборник научных трудов. – М. : МГУ, 1974.

73. Калашников Н. П. Относительная вероятность двойных и одиночных разрывов в молекуле ДНК в зависимости от качества излучения / Н. П. Калашников, В. Н. Лысцов, М. И. Рязанов // Вопросы микродозиметрии. Труды второго Всесоюзного совеща-

ния по микродозиметрии / ред. В. И. Иванов. – М. : Атомиздат, 1974. – Вып. 2. – С. 48–50.

74. Ремизович В. С. Раздельное распределение вероятности для потерь энергии на ионизацию и возбуждение атомов в малом объеме / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Вопросы микродозиметрии. Труды второго Всесоюзного совещания по микродозиметрии / ред. В. И. Иванов. – М. : Атомиздат, 1974. – Вып. 2. – С. 88–90.

75. Ремизович В. С. К теории замедления электронов / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Всесоюзное совещание по физике защиты: сборник научных трудов. – Москва, 1974.

76. Ремизович В. С. К теории обратного рассеяния частиц от поверхности вещества при скользящем падении / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Взаимодействие атомных частиц с твердым телом: сборник статей. – Киев : Наукова Думка, 1974.

77. Ремизович В. С. Некоторые вопросы теории прохождения быстрых заряженных частиц в веществе : дис... канд. физ.-мат. наук / В. С. Ремизович ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1974. – 100 с.

78. Рязанов М. И. Теория голографирования в мутных средах / М. И. Рязанов // VI Всесоюзная школа по физическим основам голографии: сборник научных трудов. – Ереван, 1974.

79. Рязанов М. И. Тормозное излучение и образование пар при сверхвысоких энергиях в конденсированном аморфном веществе / М. И. Рязанов // Успехи физических наук. – 1974. – Т. 114, вып. 3. – С. 393–414.

1975

80. Ryazanov M. I. Kinetic Emission of Electrons from Solids by Resonant Absorption of Excitation Quanta / M. I. Ryazanov, N. H. March // Physics Letters A. – 1975. – Vol. A 53, 1. – P. 69–71.

81. X-ray reflection and electron-density profile at liquid-metal surfaces / S. P. Goreslavsky [et al.] // Physics letters A. – 1975. – Vol. 55, 2. – P. 123–124.

1976

82. Ryazanov M. I. Transition Radiation Emitted by an Ultrarelativistic Particle Crossing a Curved Interface between Media / M. I. Ryazanov, I. S. Tilinin // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1976. – Vol. 44, 6. – P. 1092–1095.

83. Калашников Н. П. Взаимодействие ядерных частиц с монокристаллами : конспект лекций / Н.П. Калашников, М. И. Рязанов, В. П. Смилга ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1976. – 80 с.

84. Ремизович В. С. Решение интегрального уравнения переноса для нерелятивистских электронов / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Вопросы дозиметрии и защиты от излучений : труды Всесоюзной научной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (декабрь 1974 г.). – М. : Атомиздат, 1976. – Вып. 15. – С. 77–82.

85. Рязанов М. И. Переходное излучение ультрарелятивистской частицы от искривленной поверхности раздела сред / М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1976. – Т. 71, вып. 6(12). – С. 2078–2084.

86. Франк И. М. Взаимодействие ядерных частиц с твердым телом : конспекты лекций: учебное пособие / И. М. Франк, М. Г. Землянов, Н. А. Черноплеков ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1976. – 83 с.

1977

87. Взаимодействие частиц с веществом : конспекты лекций / ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1977. – 100 с.

1978

88. Калашникова Ю. С. Резонансные эффекты в излучении заряда, равномерно движущегося в возбужденной среде : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02–теорет. и матем. физика) / Ю. С. Калашникова ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1978. – 88 с.

89. Ремизович В. С. Распределение быстрых тяжелых заряженных частиц по глубине проникновения в вещество, обусловленное искривлением траекторий частиц из-за упругого рассеяния / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // II Всесоюзная научная конференция по защите от ионизирующих излучений ядернотехнических установок (19–21 декабря 1978 ; Москва): тезисы докладов. – М. : МИФИ, 1978. – С. 27.

90. Рязанов М. И. Роль колебаний кильватерной плотности заряда во взаимодействии движущейся в веществе частицы с электромагнитным полем / М. И. Рязанов // V Всесоюзная конференция по взаимодействию атомных частиц с твердым телом: сборник научных трудов. – Минск, 1978. – Ч. 2. – С. 69.

1979

91. Ryazanov M. I. Non-linear Macroscopic Electrodynamics of Excited Matter / M. I. Ryazanov // Bulletin of the American Physical Society. – 1979. – Vol. 24, 4. – P. 661.

92. Андреев С. П. Перезарядка ионов, неупругие столкновения и потери энергии в возбужденном веществе / С. П. Андреев, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // VII Международная конференция по атомным столкновениям в твердых телах: сборник научных трудов. – Москва, 1979.

93. Взаимодействие быстрых частиц с поверхностью твердого тела : Физические процессы в субмонослойных пленках: учебное пособие / ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 34 с.

94. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами : учеб. пособие / Ю. П. Добрецов [и др.] ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 73 с.

95. Влияние ионизирующих излучений на свойства диэлектриков и полупроводников / ред. М. И. Рязанов; МИФИ. – М. : Атомиздат. Вып.1 . – 1979. – 140 с.

96. Калашников Н. П. Взаимодействие ядерных излучений с монокристаллами : учебное пособие для вузов / Н. П. Калашников, А. С. Ольчак ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 58 с.

97. Ремизович В. С. Влияние вероятностного характера упругих столкновений на энерговыделение в малых объемах / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Третье Всесоюзное совещание по микродозиметрии 18–22 июня 1979 года : тезисы докладов. – М. : МИФИ, 1979. – С. 9–10.

98. Ремизович В. С. Распределение быстрых тяжелых заряженных частиц по глубине проникновения в вещество, обусловленное искривлением траектории из-за упругого рассеяния / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Вопросы дозиметрии и защиты от излучений : материалы второй Всесоюзной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (декабрь 1978 г.). – 1979. – Вып. 18. – С. 142–148.

99. Ремизович В. С. Распределение внедренных ионов по глубине с учетом упругих отклонений и флуктуаций потерь энергии / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов // Влияние ионизирующих излучений на свойства диэлектриков и полупроводников : сборник статей. – М. : Атомиздат, 1979. – Вып. 1. – С. 68–75.

100. Рязанов М. И. Вторичная ионизация в диэлектриках и полупроводниках коллективными колебаниями плотности кильватерного заряда / М. И. Рязанов // Влияние ионизирующих излучений на свойства диэлектриков и полупроводников : сборник статей. – М. : Атомиздат, 1979. – Вып. 1. – С. 3–13.

101. Рязанов М. И. Кильватерный заряд в электромагнитных взаимодействиях быстрых частиц в веществе / М. И. Рязанов // Радиационно-индуцированные явления в конденсированных средах: учебное пособие. – М. : МИФИ, 1979. – С. 3–34.

102. Рязанов М. И. Радиационно-индуцированные явления в конденсированных средах : учеб. пособие / М. И. Рязанов, В. Г. Барышевский ; ред. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1979. – 43 с.

1980

103. Lyapidevskii V. K. On the Possibility of Producing a Coherent Scintillator / V. K. Lyapidevskii, M. I. Ryazanov // JETP Letters. – 1980. – Vol. 32, 8. – P. 496–499.

104. Remizovich V. S. Energy and Angular Distributions of Particles Reflected in Glancing Incidence of a Beam of Ions on the Surface of a Material / V. S. Remizovich, M. I. Ryazanov, I. S. Tilihin // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1980. – Vol. 52, 2. – P. 225–230.

105. Бабаджан Е. И. Некоторые вопросы физики взаимодействия импульсного лазерного излучения с твердыми прозрачными диэлектриками : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02– Теоретическая математическая физика) / Е. И. Бабаджан ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1980. – 147 с.

106. Калашников Н. П. Столкновения быстрых заряженных частиц в твердых телах / Н. П. Калашников, В. С. Ремизович, М. И. Рязанов. – М. : Атомиздат, 1980. – 272 с.

107. Кудрявцев В. Г. Взаимное влияние поглощения света двух частот в аморфных полупроводниках / В. Г. Кудрявцев, М. И. Рязанов, С. Н. Тараскин // Физические явления в некристаллических полупроводниках: материалы конференции «Аморфные полупроводники – 80». – Кишинев, 1980. – С. 141–144.

108. Ляпидевский В. К. О возможности когерентного сцинтиллятора / В. К. Ляпидевский, М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1980. – Т. 32, вып. 8. – С. 516–519.

109. Ремизович В. С. Обратное рассеяние плоского пучка быстрых заряженных частиц от поверхности вещества при скользящем падении / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Доклады Академии наук СССР. – 1980. – Т. 251, № 4. – С. 848–851.

110. Ремизович В. С. Отражение узкого пучка тяжелых заряженных частиц от поверхности вещества при скользящем падении / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Доклады Академии наук СССР. – 1980. – Т. 254, № 3. – С. 616–619.

111. Ремизович В. С. Расчет полного альбеда при облучении поверхности вещества точечным источником легких ионов / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Диагностика поверхности ионными пучками : сборник статей. – Донецк, 1980.

112. Ремизович В. С. Энергетическое и угловое распределение отраженных частиц при падении пучка ионов под малым углом к поверхности вещества / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1980. – Т. 79, вып. 2 (8). – С. 448–458.

113. Рязанов М. И. Оптическое излучение непрерывного спектра при распылении / М. И. Рязанов // Вторичная ионная и ионно-фотонная эмиссия: тезисы докладов (29-31 января 1980 г.). – Харьков, 1980. – С. 92–94.

1981

114. Rogozkin D. B. Coherent Raman Emission of Electromagnetic Waves by a Wake Charge in Resonantly Excited Matter / D. B. Rogozkin, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1981. – Vol. 53, 6. – P. 1175–1178.

115. Исследование поверхностных и объемных свойств твердых тел по взаимодействию частиц : сборник статей / ред. М. И. Рязанов; МИФИ. – М. : Энергоиздат, 1981. – 115 с.

116. Ремизович В. С. Диффузионное отражение узкого пучка света от полубесконечной среды с сильной анизотропией рассеяния / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1981. – Т. 17, № 8. – С. 880–883.

117. Ремизович В. С. Отражение заряженных частиц от поверхности при скользящем падении и методы исследования приповерхностного слоя вещества / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин // Исследование поверхностных и объемных свойств твердых тел по взаимодействию частиц : сборник статей. – 1981. – С. 3–24.

118. Ремизович В. С. Распределение частиц в глубине вещества при падении на его поверхность потока быстрых ионов / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Исследование поверхностных и объемных свойств твердых тел по взаимодействию частиц : сборник статей. – 1981. – С. 25–52.

119. Рогозкин Д. Б. Когерентное комбинационное излучение электромагнитных волн кильватерным зарядом в резонансно возбужденном веществе / Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1981. – Т. 80, вып. 6. – С. 2250–2256.

120. Рязанов М. И. Когерентное излучение фотонов быстрыми частицами в возбужденном веществе / М. И. Рязанов // Физика элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ). – 1981. – Т. 12, вып. 5. – С. 1035–1069.

121. Тилинин И. С. Диффузное отражение быстрых тяжелых заряженных частиц при падении на поверхность вещества под малыми углами : дис... канд. физ.-мат. наук: (01.04.02 –теоретическая и математическая физика) / И. С. Тилинин ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1981. – 135 с.

1982

122. Дударев С. Л. Многократное рассеяние быстрых электронов в монокристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Кристаллография. – 1982. – Т. 30, № 2. – С. 267–273.

123. Ремизович В. С. Распространение светового сигнала в веществе с крупномасштабными случайными неоднородностями с учетом флуктуаций путей фотонов при многократном рассеянии / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1982. – Т. 18, № 6. – С. 623–631.

124. Ремизович В. С. Распространение узкого модулированного пучка света в рассеивающей среде с учетом флуктуаций путей фотонов при многократном рассеянии / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. – 1982. – Т. 25, № 8. – С. 891–898.

125. Ремизович В. С. Теория обратного рассеяния быстрых заряженных частиц при наклонном падении на поверхность вещества : тексты лекций / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, И. С. Тилинин. – М. : МИФИ, 1982. – 75 с.

126. Ремизович В. С. Энергетическое распределение быстрых частиц на больших глубинах и распределение по пробегаем с учетом «искривления траектории» из-за упругих столкновений / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Доклады Академии наук СССР. – 1982. – Т. 262, № 4. – С. 864–868.

127. Рогозкин Д. Б. Резонансное рассеяние электромагнитных волн кильватерным зарядом быстрой частицы / Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Взаимодействие лазерного излучения с резонансными средами: сборник статей. – М. : Энергоиздат, 1982. – С. 65–73.

128. Угловое и энергетическое распределение ионов гелия, отраженных от поликристаллических твердых тел / Е. С. Машкова [и др.] // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1982. – № 3. – С. 58–62.

1983

129. Dudarev S. L. Energy Limits of Bragg Diffraction of Charged Particles in a Single Crystal / S. L. Dudarev, M. I. Ryazanov // JETP Letters. – 1983. – Vol. 38, 4. – P. 261–263.

130. Dudarev S. L. Mutual Influence of Two-wave Diffraction and Incoherent Scattering of a Charged Particle in a Single Crystal / S. L. Dudarev, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1983. – Vol. 58, 5. – P. 1018–1022.

131. Kudryavtsev V.G. Two Frequency Light-induced Absorption and Energy Density of Localized States in Amorphous Semiconductors / V. G. Kudryavtsev, M. I. Ryazanov, S. N. Taraskin // Solid State Communications. – 1983. – Vol. 45, 5. – P. 441–444.

132. Small-angle Particle Reflection from Random Solids – Theory and Experiment / E. S. Mashkova [et al.] // Radiation Effects and Defects in Solids. – 1983. – Vol. 70, 1–4. – P. 85–105.

133. Андреев С. П. Диффузия, дрейф и электропроводность в полупроводниках : учеб. пособие / С. П. Андреев, А. И. Руденко, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1983. – 100 с.

134. Дударев С. Л. Энергетические границы брэгговской дифракции заряженных частиц в монокристалле / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1983. – Т. 38, вып. 4. – С. 221–222.

135. Дударев С. Л. Взаимное влияние двухволновой дифракции и некогерентного рассеяния заряженной частицы в монокристалле / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1983. – Т. 85, вып. 5 (11). – С. 1748–1756.

136. Кудрявцев В. Г. О возможности определения корреляционной энергии Андерсона в неупорядоченных полупроводниках / В. Г. Кудрявцев, М. И. Рязанов, С. Н. Тараскин // Всесоюзное совещание-семинар «Математическое моделирование и экспериментальное исследование релаксации в элементах интегральных схем» : тезисы докладов. – Гурзуф, 1983.

137. Кудрявцев В. Г. Релаксация фототока в неупорядоченных диамагнитных полупроводниках / В. Г. Кудрявцев, М. И. Рязанов, С. Н. Тараскин // Всесоюзное совещание-семинар «Математическое моделирование и экспериментальное исследование релаксации в элементах интегральных схем» : тезисы докладов. – Гурзуф, 1983.

138. Многочастичные эффекты в твердых телах / МИФИ; ред. М. И. Рязанов. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 140 с.

139. Ремизович В. С. Распространение импульсного светового сигнала в мутной среде / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1983. – Т. 19, № 10. – С. 1053–1061.

140. Рогозкин Д. Б. Прохождение излучений в толстых слоях вещества при сильно анизотропном рассеянии : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02–теоретическая и математическая физика) / Д. Б. Рогозкин ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1983. – 167 с.

141. Теория поглощения лазерного излучения металлизированными микровключениями в прозрачных материалах / Е. И. Бабаджан [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1983. – № 1. – С. 13–19.

1984

142. Ryazanov M. I. Limits of Applicability of the Macroscopic Theory of Transition Radiation / M. I. Ryazanov // JETP Letters. – 1984. – Vol. 39, 12. – P. 698–700.

143. Андреев С. П. Полупроводники в сильных полях : учеб. пособие / С. П. Андреев, А. И. Руденко, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1984. – 66 с.

144. Гольтяев О. М. Примеси в электронной Ферми-жидкости : дис... канд. физ.–мат. наук (01.04.02–теоретическая и математическая физика) / О. М. Гольтяев ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1984. – 114 с.

145. Дударев С. Л. Взаимное влияние когерентного и некогерентного рассеяния быстрых нерелятивистских электронов с монокристаллах : дис... канд. физ.–мат. наук (01.04.02–теоретическая и математическая физика) / С. Л. Дударев ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1984. – 118 с.

146. Дударев С. Л. Интерференционные явления при когерентном и некогерентном рассеянии заряженных частиц в монокристаллах : препринт 006–84 / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1984. – 28 с.

147. Об особенностях процессов рекомбинации и захвата в аморфном полупроводнике, содержащем центры с отрицательной корреляционной энергией / М. И. Клиnger [и др.] // Письма в журнал технической физики. – 1984. – Т. 10, вып. 8. – С. 463–467.

148. Рязанов М. И. Пределы применимости макроскопической теории переходного излучения / М. И. Рязанов // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1984. – Т. 39, вып. 12. – С. 569–571.

149. Рязанов М. И. Электродинамика конденсированного вещества : учеб. пособие для вузов / М. И. Рязанов. – М. : Наука, 1984. – 304 с.

1985

150. Dudarev S. L. Solution of Quantum Kinetic Equation in the Locally Eikonal Approximation / S. L. Dudarev, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1985. – Vol. 61, 2. – P. 370–376.

151. Dudarev S. L. The Effect of Variation of the Elastic Cross Section on Multiple Scattering of electrons in crystals / S. L. Dudarev,

М. И. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1985. – Vol. 62, 5. – P. 972–975.

152. Kalashnikov N. P. Collisions of Fast Charged Particles in Solids / N. P. Kalashnikov, V. S. Remizovich, M. I. Ryazanov. – New York: Gordon & Breach Publishing Group, 1985. – 438 p.

153. On Band Tail Structure and Peculiarities of Temperature-dependence for Concentration of Localized Single-particle Carriers in Glassy Semiconductors / M. I. Klinger [et al.] // Solid State Communications. – 1985. – Vol. 53, 4. – P. 315–319.

154. Дударев С. Л. К теории ориентационных эффектов при эмиссии оже-электронов с монокристаллических поверхностей / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1985. – № 1. – С. 5–12.

155. Дударев С. Л. Ориентационная зависимость потерь энергии быстрых электронов в кристалле / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1985. – № 1. – С. 74–81.

156. Дударев С. Л. Ориентационные эффекты в угловом распределении вылетающих из толстого монокристалла частиц / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // XIV Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами: сборник научных трудов. – М. : МГУ, 1985.

157. Дударев С. Л. Угловое распределение электронов в результате конкуренции упругого и неупругого рассеяния в монокристалле / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Общая и ядерная физика. – 1985. – № 3 (32). – С. 114–119.

158. Дударев С. Л. Функция взаимной когерентности при рассеянии в случайно неоднородной среде с резкой границей / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // IX Всесоюзный симпозиум по дифракции и распространению волн: сборник научных трудов. – Тбилиси, 1985.

159. Дударев С. Л. Решение квантового кинетического уравнения в локально-эйконоальном приближении / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1985. – Т. 88, вып. 2. – С. 631–641.

160. Дударев С. Л. Роль эффекта изменения упругого сечения при многократном рассеянии электронов в кристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1985. – Т. 89, вып. 5 (11). – С. 1685–1691.

161. Кудрявцев В. Г. Электронная структура полупроводниковых метастабильных одночастичных возбуждений / В. Г. Кудрявцев, М. И. Рязанов, С. Н. Тараскин // II Всесоюзная конференция по квантовой химии твердого тела: тезисы докладов. – Рига, 1985.

162. Литвиненко А. Г. Взаимодействие интенсивного электромагнитного поля с электронной подсистемой в реальных широкозонных диэлектриках : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02–теоретическая и математическая физика) / А. Г. Литвиненко ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1985. – 138 с.

163. Особенности кинетики фотопроводимости стеклообразных полупроводников / М. И. Клиnger [и др.] // Письма в журнал технической физики. – 1985. – Т. 11, вып. 6. – С. 326–330.

164. Особенности стационарной фотопроводимости в стеклообразных полупроводниках / М. И. Клиnger [и др.] // Доклады Академии наук СССР. – 1985. – Т. 280, № 1. – С. 91–95.

165. Ремизович В. С. О рассеянии и потерях энергии ионов в веществе / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, В. В. Фролов // Доклады Академии наук СССР. – 1985. – Т. 282, № 4. – С. 870–874.

166. Роль одночастичных возбуждений в фотопроводимости стеклообразных полупроводников / М. И. Клиnger [и др.] // XVIII Всесоюзная конференция «Стеклообразные полупроводники»: тезисы докладов. – Ленинград, 1985. – С. 32.

167. Рязанов М. И. Исследование поверхности по обратному рассеянию частиц / М. И. Рязанов, И. С. Тилинин. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 150 с.

168. Тараскин С. Н. Фотопроводимость неупорядоченных полупроводников с автолокализованными электронными парами : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02–теоретическая и математическая физика) / С. Н. Тараскин ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1985. – 149 с.

1986

169. Дударев С. Л. Неупругая перестройка блоховских состояний поперечного движения в условиях критического ускоряющего напряжения / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // XVI Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами: сборник научных трудов. – М. : МГУ, 1986.

170. Ремизович В. С. Аналитическое описание торможения быстрых заряженных частиц в веществе / В. С. Ремизович, Д. Б. Rogozkin, М. И. Рязанов // Физика элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ). – 1986. – Т. 17, вып. 5. – С. 929–981.

171. Ремизович В. С. Энергетически-угловые спектры ионов средней энергии, проходящих слой вещества / В. С. Ремизович, М. И. Рязанов, В. В. Фролов // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61, вып. 4. – С. 256–260.

172. Ремизович В. С. Распространение света в стратифицированной среде с сильно анизотропным рассеянием / В. С. Ремизович, Д. Б. Rogozkin, М. И. Рязанов // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1986. – Т. 22, № 7. – С. 736–742.

1987

173. Coherent Effects in Backscattering of Waves from a Medium with Random Inhomogeneities / E. E. Gorodnichev [et al.] // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1987. – Vol. 66, 5. – P. 938–944.

174. Peculiarities of Photoconductivity in Disordered Semiconductors with Negative U-centers / M. I. Klinger [et al.] // Crystal Lattice Defects and Amorphous Materials. – 1987. – Vol. 13, 3–4. – P. 273–278.

175. Ryazanov M. I. Phenomenological Description of the Dielectric Properties of Surfaces: Surface Waves / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1987. – Vol. 66, 4. – P. 725–730.

176. The Role of Negative U-centers in the Photoconductivity of Glassy Semiconductors / M. I. Klinger [et al.] // *Journal of Non-crystalline Solids*. – 1987. – Vol. 92, 2–3. – P. 363–366.

177. Дударев С. Л. Генерация характеристического рентгеновского излучения быстрыми электронами в кристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // *Поверхность и эффекты неоднородности твердого тела: сборник научных трудов*. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – С. 35–42.

178. Дударев С. Л. Интерференционная ионизация атомов при дифракции электронов и фотонов в кристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // *Физика твердого тела*. – 1987. – Т. 29, вып. 2. – С. 612–614.

179. Дударев С. Л. Количественная теория оже-спектроскопии поверхностей кристаллов / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // *Поверхность. Физика, химия, механика*. – 1987. – № 2. – С. 5–13.

180. Когерентные эффекты при обратном рассеянии волн от среды со случайными неоднородностями / Е. Е. Городничев [и др.] // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1987. – Т. 93, вып. 5 (11). – С. 1642–1653.

181. Рязанов М. И. Феноменологическое описание диэлектрических свойств поверхности. Поверхностные волны / М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1987. – Т. 93, вып. 4(10). – С. 1281–1292.

182. Эффекты когерентности при обратном рассеянии волн от среды со случайными неоднородностями : препринт 025–87 / Е. Е. Городничев [и др.]. – М. : МИФИ, 1987. – 21 с.

1988

183. Dudarev S. L. Multiple-scattering Theory for Fast Electrons in Single-crystals and Kikuchi Patterns / S. L. Dudarev, M. I. Ryazanov // *Acta Crystallographica Section A*. – 1988. – Vol. 44. – P. 51–61.

184. Nature of Anomalous X-ray Reflection from a Surface / E. E. Gorodnichev [et al.] // *JETP Letters*. – 1988. – Vol. 48, 3. – P. 147–150.

185. Дударев С. Л. Динамическое ослабление возбуждения и ионизации атомов электронами в неориентированном кристалле / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // XVIII Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: тезисы докладов. – М. : МГУ, 1988.

186. Дударев С. Л. К теории образования картин Кикучи при многократном неупругом рассеянии электронов в кристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Кристаллография. – 1988. – Т. 33, № 2. – С. 308–317.

187. Дударев С. Л. Ослабление возбуждения и ионизации атомов электронами при дифракции в поликристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Физика твердого тела. – 1988. – Т. 30, вып. 9. – С. 2622–2628.

188. Образование стоячих волн – причина аномального отражения рентгеновских лучей от поверхности твердого тела / Е. Е. Городничев [и др.] // IV Всесоюзное совещание по когерентному взаимодействию излучения с веществом (г. Юрмала Латвийской ССР; 17-21 октября 1988 г.) : тезисы докладов. – М., 1988. – С. 208–209.

189. Природа аномального отражения рентгеновских лучей от поверхности вещества / Е. Е. Городничев [и др.] // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1988. – Т. 48, вып. 3. – С. 137–139.

190. Ремизович В. С. Флуктуации пробега заряженных частиц / В. С. Ремизович, Д. Б. Рогозкин, М. И. Рязанов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 239 с.

191. Рязанов М. И. Источники когерентного излучения / М. И. Рязанов // Успехи физических наук. – 1988. – Т. 154, вып. 2. – С. 341–342. – Рецензия на книгу: Coherent Radiation Sources / Eds A. W. Saenz, H. Überail. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokio: Springer-Verlag, 1985. – 235 p. – (Topics in Current Physics. V. 38).

192. Спектроскопия рентгеновской флуоресценции в условиях полного внешнего отражения при скользящем вылете квантов из вещества / Е. Е. Городничев [и др.] // IV Всесоюзное совещание по когерентному взаимодействию излучения с веществом: тезисы докладов. – Юрмала, 1988. – С. 210.

193. Тонкая структура углового спектра рентгеновской флуоресценции поверхности кристалла при облучении быстрыми электронами / Е. Е. Городничев [и др.] // XVIII Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: тезисы докладов. – М. : МГУ, 1988.

1989

194. Self-trapped Single-particle Excitations in Equilibrium and Photoconductivity in Glassy Semiconductors / M. I. Klinger [et al.] // Physical Review B. – 1989. – Vol. 40, 9. – P. 6311–6320.

195. Weak Localization of Waves in Incoherent Scattering in Crystals / E. E. Gorodnichev [et al.] // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1989. – Vol. 69, 5. – P. 1017–1025.

196. Городничев Е. Е. Когерентные эффекты при обратном рассеянии волн от случайно-неоднородной среды : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02–теоретическая и математическая физика) / Е. Е. Городничев ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1989. – 149 с.

197. Дударев С. Л. Дифракция и многократное рассеяние электронов в реальных монокристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // XIII Европейская кристаллографическая конференция: тезисы докладов. – Москва, 1989. – Т. 3. – С. 36.

198. Дударев С. Л. Природа угловой зависимости энергетических потерь быстрых электронов в толстых монокристаллах / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // XIX Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: тезисы докладов. – М. : МГУ, 1989.

199. Дударев С. Л. Спектральное кинетическое уравнение для неупругого рассеяния в монокристаллах : препринт 001–89 / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1989. – 28 с.

200. Роль эффектов преломления и отражения при обратном рассеянии электронов от неупорядоченного вещества / Е. Е. Городничев [и др.] // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1989. – № 4. – С. 22–30.

201. Слабая локализация волн при некогерентном рассеянии в кристаллах / Е. Е. Городничев [и др.] // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1989. – Т. 96, вып. 5(11). – С. 1801–1814.

1990

202. Weak Localization of Waves in Crystals – Diffraction Effects in Coherent Backscattering / Е. Е. Gorodnichev [et al.] // Physics Letters A. – 1990. – Vol. 144, 6–7. – P. 411–414.

203. Дударев С. Л. Природа дифракционных явлений в электронной спектроскопии поверхности с угловым разрешением / С. Л. Дударев, М. И. Рязанов // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1990. – № 7. – С. 43–55.

204. Дударев С. Л. Тепловое диффузное рассеяние при дифракции электронов высокой энергии в геометрии Брэгга : препринт 047–90 / С. Л. Дударев, Л. М. Пенг, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1990. – 23 с.

205. Преломление и когерентное отражение волн на границе среды со случайными неоднородностями / Е. Е. Городничев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. – 1990. – Т. 33, № 3. – С. 326–333.

1991

206. Dudarev S. L. Dynamic Effects of Thermal Diffuse-scattering in Rheed / S. L. Dudarev, L. M. Peng, M. I. Ryazanov // Acta Crystallographica Section A. – 1991. – Vol. 47. – P. 170–176.

207. Ryazanov M. I. Radiation by a Nonrelativistic Charge in a Medium: Orientation Dependence of the Emission Spectrum in a Crystal / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1991. – Vol. 72, 6. – P. 998–1002.

208. Зеркальное отражение квантов и частиц от поверхности твердого тела / Е. Е. Городничев [и др.] // Журнал технической физики. – 1991. – Т. 61, № 6. – С. 210–212.

209. Рязанов М. И. Излучение нерелятивистского заряда в веществе. Ориентационная зависимость спектра излучения в кристалле / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1991. – Т. 99, вып. 6. – С. 1784–1792.

1993

210. Ryazanov M. I. Anomalous Electromagnetic Waves in a Crystal near the Zeros of the Dielectric Constant / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1993. – Vol. 76, 5. – P. 910–914.

211. Ryazanov M. I. Quasitransition Radiation of a Charged Particle Reflected by a Crystal Surface / M. I. Ryazanov, A. N. Safronov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1993. – Vol. 76, 2. – P. 276–279.

212. Ryazanov M. I. Quasitransition Surface Wave Radiation / M. I. Ryazanov, A. N. Safronov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1993. – Vol. 77, 4. – P. 672–676.

213. Рязанов М. И. Аномальные электромагнитные волны в кристалле вблизи нулей диэлектрической проницаемости / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1993. – Т. 103, вып. 5. – С. 1840–1850.

214. Рязанов М. И. Квазипереходное излучение поверхностных волн / М. И. Рязанов, А. Н. Сафронов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1993. – Т. 104, вып. 4(10). – С. 3512–3520.

215. Рязанов М. И. О квазипереходном излучении при отражении заряженной частицы от поверхности кристалла / М. И. Рязанов, А. Н. Сафронов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1993. – Т. 103, вып. 2. – С. 547–554.

1994

216. Сафронов А.Н. Исследование переходного и квазипереходного излучения : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02– теоре-

тическая физика) / А. Н. Сафронов ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1994. – 120 с.

1995

217. Ryazanov M. I. On the Dielectric Function of an Inhomogeneous Medium / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1995. – Vol. 81, 5. – P. 974–978.

218. Рязанов М. И. О диэлектрической проницаемости неоднородной среды / М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1995. – Т. 108, вып. 5. – С. 1778–1786.

1996

219. Ryazanov M. I. The Effect of the Natural Variation in the Polarization of a Near-surface Layer on Electromagnetic Surface Waves / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1996. – Vol. 83, 3. – P. 529–532.

220. Ryazanov M. I. Effects of Interference in Transient Radiation / M. I. Ryazanov, A. N. Safronov // *Laser Physics*. – 1996. – Vol. 6, 4. – P. 708–712.

221. Рязанов М. И. Влияние естественного изменения поляризации приповерхностного слоя на электромагнитные поверхностные волны / М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1996. – Т. 110, вып. 3. – С. 959–965.

1997

222. Gorkunov M. V. The Effect of a Local Field on Raman Scattering in a Uniaxial Crystal / M. V. Gorkunov, M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1997. – Vol. 85, 1. – P. 97–103.

223. Ivliev S. V. Characteristic Electron Thermalization Time in Dielectric Media / S. V. Ivliev, V. K. Lyapidevskii, M. I. Ryazanov // *Technical Physics*. – 1997. – Vol. 42, 6. – P. 624–627.

224. Lyapidevskii V. K. Direct Confirmation of the Coulomb Mechanism for Atomic Displacement in Heavy-ion Tracks in a Dielectric

/ V. K. Lyapidevskii, M. I. Ryazanov // *Technical Physics Letters*. – 1997. – Vol. 23, 8. – P. 638–639.

225. Marmazeev M. V. Radiation of Slow Electromagnetic Waves in an Isotropic Medium with Spatial Dispersion / M. V. Marmazeev, M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1997. – Vol. 85, 5. – P. 846–849.

226. Ryazanov M. I. Microscopic Theory of High-frequency Transient Radiation in the Grazing Incidence of a Particle on an Interface / M. I. Ryazanov, A. N. Safronov // *Laser Physics*. – 1997. – Vol. 7, 5. – P. 1068–1075.

227. Ryazanov M. I. On the Nonlinear Interaction of a Plane Wave with the Field of a Fast Charged Particle in a Medium / M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 1997. – Vol. 7, 4. – P. 967–969.

228. Горкунов М. В. О влиянии локального поля на комбинационное рассеяние света в одноосном кристалле / М. В. Горкунов, М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1997. – Т. 112, вып. 1(7). – С. 180–191.

229. Ивлиев С. В. О характерных временах термализации электронов в диэлектрических средах / С. В. Ивлиев, В. К. Ляпидевский, М. И. Рязанов // *Журнал технической физики*. – 1997. – Т. 67, № 6. – С. 41–45.

230. Ляпидевский В. К. Прямое подтверждение существования кулоновского механизма смещения атомов в треках тяжелых ионов в диэлектрике / В. К. Ляпидевский, М. И. Рязанов // *Письма в журнал технической физики*. – 1997. – Т. 23, № 16. – С. 51–54.

231. Мармазеев М. В. Об излучении медленных электромагнитных волн в изотропной среде с пространственной дисперсией / М. В. Мармазеев, М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 1997. – Т. 112, вып. 5(11). – С. 1557–1562.

1998

232. Dubovik V. M. On the Temperature Dependence of the Dielectric Function of a Uniaxial Crystal / V. M. Dubovik, M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 1998. – Vol. 8, 6. – P. 1218–1222.

233. Gorkunov M. V. Fluctuational Spatial Dispersion in Achiral Liquid Crystals / M. V. Gorkunov, M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1998. – Vol. 87, 1. – P. 101–105.

234. Gorkunov M. V. The Role of Spatial Dispersion near Zero Points of the Dielectric Function of Cubic and Uniaxial Crystals / M. V. Gorkunov, M. I. Ryazanov // Laser Physics. – 1998. – Vol. 8, 2. – P. 502–507.

235. Osipov V. A. Emission of a Charge Moving Uniformly Parallel to the Surface of a Nonstationary Medium / V. A. Osipov, M. I. Ryazanov // Laser Physics. – 1998. – Vol. 8, 5. – P. 1007–1012.

236. Горкунов М. В. Флуктуационная пространственная дисперсия в ахиральных жидких кристаллах / М. В. Горкунов, М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1998. – Т. 114, вып. 1(7). – С. 182–190.

237. Горкунов М. В. Добавочные электромагнитные волны вблизи нулей главных значений диэлектрической проницаемости одноосного кристалла / М. В. Горкунов, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 1998. Сборник научных трудов. – М., 1998. – Ч.2: Астрономия и исследование космического пространства. Оптика и лазерная физика. Теоретические проблемы физики. Лазерная физика и взаимодействие излучения с веществом. – С. 134–136.

238. Горкунов М. В. Локальное поле и эффекты пространственной дисперсии в одноосных конденсированных средах : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02–теоретическая физика) / М. В. Горкунов ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1998. – 93с.

239. Ивлиев С. В. О механизме смещения атомов в треке быстрого тяжелого иона в диэлектрике : препринт 013–98 / С. В. Ивлиев, В. К. Ляпидевский, М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 1998. – 20 с.

240. Ивлиев С. В. О механизме смещения атомов в треке тяжелого иона / С. В. Ивлиев, В. К. Ляпидевский, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 1998. Сборник научных трудов. – М., 1998. – Ч.3: Ядерная физика. Физика ускорителей заряженных частиц. Физика плазмы. – С. 37–38.

241. Мармазеев М. В. Изучение медленных электромагнитных волн в изотропной среде с пространственной дисперсией / М. В.

Мармазеев, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 1998. Сборник научных трудов. – М., 1998. – Ч.2: Астрономия и исследование космического пространства. Оптика и лазерная физика. Теоретические проблемы физики. Лазерная физика и взаимодействие излучения с веществом. – С. 136–137.

1999

242. Dubovik V. M. On the Reflection of Electromagnetic Waves in a One-dimensionally Nonuniform Anisotropic Medium / V. M. Dubovik, M. I. Ryazanov // Laser Physics. – 1999. – Vol. 9, 6. – P. 1205–1209.

243. Marmazeev M. V. On Nonlinear Interactions of Optical Phonons in an Ionic Crystal / M. V. Marmazeev, M. I. Ryazanov // Laser Physics. – 1999. – Vol. 9, 4. – P. 946–950.

244. Ryazanov M. I. Theory of the Field-controlled Scintillation Detector / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1999. – Vol. 89, 2. – P. 267–270.

245. Дубовик В. М. Влияние флуктуаций анизотропии на диэлектрическую проницаемость однородной аморфной среды из аксиально симметричных молекул / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 1999. Сборник научных трудов. – М., 1999. – Т.1: Экология и рациональное природопользование. Биофизика. Медицинская физика и техника. Математические методы в научных исследованиях. Теоретические проблемы физики. – С. 259.

246. Дубовик В. М. О температурной зависимости диэлектрической проницаемости одноосного кристалла / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 1999. Сборник научных трудов. – М., 1999. – Т.1: Экология и рациональное природопользование. Биофизика. Медицинская физика и техника. Математические методы в научных исследованиях. Теоретические проблемы физики. – С. 257–258.

247. Рязанов М. И. К теории управляемого полем сцинтилляционного детектора / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1999. – Т. 116, вып. 2(8). – С. 503–510.

248. Koshelev I. B. On the Cerenkov Emission of a Charge Moving in the Plane of an Interface between Two Media / I. B. Koshelev, M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2000. – Vol. 10, 2. – P. 668–675.

249. Lyapidevskii V. K. On the Influence of Ionization Density in a Fast Charged Particle Track on the Light output of Scintillations / V. K. Lyapidevskii, M. I. Ryazanov // *Technical Physics*. – 2000. – Vol. 45, 7. – P. 948–949.

250. Ryazanov M. I. On the Emission of Fast Particles in a Metastable Excited Medium / M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2000. – Vol. 10, 3. – P. 812–815.

251. Дубовик В. М. Вызванная флуктуациями пространственная дисперсия в аморфной среде из анизотропных молекул / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 2000. Сборник научных трудов. – М., 2000. – Т.5: Биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Медицинская физика. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 183–184.

252. Дубовик В. М. Об отражении электромагнитных волн в неоднородной анизотропной среде / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 2000. Сборник научных трудов. – М., 2000. – Т.5: Биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Медицинская физика. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 184.

253. Ляпидевский В. К. О механизме влияния плотности ионизации в треке быстрой заряженной частицы на световыход сцинтилляций / В. К. Ляпидевский, М. И. Рязанов // *Журнал технической физики*. – 2000. – Т. 70, вып. 7. – С. 136–137.

254. Рязанов М. И. Отражение света от ступенчатых поверхностей монокристалла / М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 2000. Сборник научных трудов. – М., 2000. – Т.5 : Биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Медицинская физика. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 185.

2001

255. Dubovik V. M. On the Temperature Dependence of the Refractive Index of a Uniaxial Crystal Semiconductor / V. M. Dubovik, M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2001. – Vol. 11, 9. – P. 1037–1041.

256. Ryazanov M. I. On the Bremsstrahlung Emission of an Ultrarelativistic Particle in an Excited Medium / M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2001. – Vol. 11, 5. – P. 650–654.

2002

257. Koshelev I. B. On the Diffraction Emission of a Charged Particle on a Massive Wedge / I. B. Koshelev, M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2002. – V. 12, № 12. – P. 1437–1441.

258. Ryazanov M. I. The External Field Effect on Transient Radiation of an Ultrarelativistic Particle / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2002. – Vol. 95, 5. – P. 861–863.

259. Ryazanov M. I. Emission of a Fast Charged Particle Passing through a Monomolecular Film / M. I. Ryazanov, A. A. Tishchenko // *Laser Physics*. – 2002. – Vol. 12, 12. – P. 1442–1447.

260. Ryazanov M. I. Emission of Longitudinal Waves by a Fast Charged Particle in a Medium / M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2002. – Vol. 12, 10. – P. 1320–1324.

261. Ryazanov M. I. On the Formation of a Longitudinal Refracted Wave in the Reflection of Transverse Electromagnetic Waves / M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2002. – Vol. 12, 3. – P. 591–594.

262. Рязанов М. И. Введение в электродинамику конденсированного вещества / М. И. Рязанов. – М. : Физматлит, 2002. – 320 с.

263. Рязанов М. И. Влияние внешнего поля на переходное излучение ультрарелятивистской частицы / М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2002. – Т. 122, вып. 5. – С. 999–1002.

2003

264. Кошелев И. Б. О переходном излучении на периодически неоднородной границе раздела / И. Б. Кошелев, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 2003. Сборник научных трудов. – М., 2003. – Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 186–187.

265. Рязанов М. И. Влияние внешнего поля на переходное излучение ультрарелятивистской частицы / М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 2003. Сборник научных трудов. – М., 2003. – Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 190–191.

266. Рязанов М. И. О проводимости мономолекулярной пленки / М. И. Рязанов, А. А. Тищенко // Научная сессия МИФИ – 2003. Сборник научных трудов. – М., 2003. – Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 188–189.

2004

267. Памяти Михаила Леоновича Тер-Микаеляна / Э. С. Варданян [и др.]. // Успехи физических наук. – 2004. – Т. 174, N 9. – С. 1029–1030.

268. Dubovik V. M. Anomalous Electromagnetic Waves in Molecular Solutions / V. M. Dubovik, M. I. Ryazanov // Laser Physics. – 2004. – V. 14, № 8. – P. 1059–1064.

269. Dubovik V. M. Spatial Dispersion in Isotropic Media Caused by Anisotropy Fluctuations / V. M. Dubovik, M. I. Ryazanov // Laser Physics. – 2004. – V. 14, № 6. – P. 904–909.

270. Koshelev I. B. On Transition Emission on an Inhomogeneous Interface / I. B. Koshelev, M. I. Ryazanov // *Laser Physics*. – 2004. – V. 14, № 6. – P. 897–903.

271. Ryazanov M. I. Angular Distribution of Transient Radiation from an Ultrarelativistic Particle in a Magnetic Field / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2004. – Vol. 98, 3. – P. 478–482.

272. Ryazanov M. I. Diffraction Radiation from an Inhomogeneous Dielectric Film on the Surface of a Perfect Conductor / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2004. – Vol. 99, 2. – P. 311–319.

273. Ивлиев С. В. Подавление переходного излучения ультрарелятивистской частицы внешним полем / С. В. Ивлиев, М. И. Рязанов, М. Н. Стриханов // *Научная сессия МИФИ – 2004. Сборник научных трудов*. – М., 2004. – Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Моделирование физических процессов в окружающей среде. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 185–186.

274. Рязанов М. И. Дифракционное излучение от неоднородного диэлектрического слоя на поверхности идеального проводника / М. И. Рязанов, М. Н. Стриханов, А. А. Тищенко // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2004. – Т. 126, вып. 2. – С. 349–358.

275. Рязанов М. И. Об излучении Смита-Парселла от диэлектрического слоя на поверхности проводника / М. И. Рязанов, М. Н. Стриханов, А. А. Тищенко // *Научная сессия МИФИ – 2004. Сборник научных трудов*. – М., 2004. – Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Моделирование физических процессов в окружающей среде. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 206 – 207.

276. Рязанов М. И. Угловое распределение переходного излучения ультрарелятивистской частицы в магнитном поле / М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2004. – Т. 125, вып. 3. – С. 543–547.

2005

277. Ryazanov M. I. Diffraction Radiation from a Fast Particle at a Resonance Frequency / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2005. – Vol. 100, 3. – P. 468–474.

278. Ивлиев С. В. Асимметрия переходного излучения во внешнем поле при малых углах вылета частицы / С. В. Ивлиев, М. И. Рязанов, М. Н. Стриханов // Научная сессия МИФИ – 2005. Сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2005. – Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Моделирование физических процессов в окружающей среде. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. – С. 284–285. – Секция: Теоретические проблемы физики.

279. Рязанов М. И. Дифракционное излучение быстрой частицы на резонансной частоте / М. И. Рязанов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2005. – Т. 127, вып. 3. – С. 528–535.

280. Тищенко А. А. Дифракционное и переходное излучение релятивистских частиц на поверхностных и периодических структурах : дис... канд. физ.-мат. наук (01.04.02 – теоретическая физика) / А. А. Тищенко ; науч. рук. М. И. Рязанов. – М. : МИФИ, 2005. – 114 с.

2006

281. Dubovik V. M. Anomalous Electromagnetic Waves in a Multicomponent Insulator / V. M. Dubovik, M. I. Ryazanov // *Technical Physics*. – 2006. – Vol. 51, 9. – P. 1105–1109.

282. Ryazanov M. I. Clausius-Mossotti-type Relation for Planar Monolayers / M. I. Ryazanov, A. A. Tishchenko // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2006. – Vol. 103, 4. – P. 539–545.

283. Ryazanov M. I. Dependence of Diffraction Radiation on the Energy of an Ultrarelativistic Particle / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2006. – Vol. 102, 4. – P. 533–536.

284. Дубовик В. М. Аномальные электромагнитные волны в многокомпонентном диэлектрике / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76, вып. 9. – С. 1–5.

285. Ивлиев С. В. Переходное излучение ультрарелятивистской частицы во внешнем поле при скользящих углах вылета / С. В. Ивлиев, М. И. Рязанов, М. Н. Стриханов // Ядерная физика. – 2006. – Т. 69, N 5. – С. 899–902.

286. Рязанов М. И. Аналог соотношения Клаузиуса-Моссотти для плоского монослоя частиц / М. И. Рязанов, А. А. Тищенко. – (Атомы, молекулы, оптика) // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2006. – Т. 130, вып. 4. – С. 621–628.

287. Рязанов М. И. О зависимости дифракционного излучения от энергии ультрарелятивистской частицы / М. И. Рязанов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2006. – Т. 129, вып. 4. – С. 611–614.

2007

288. Ryazanov M. I. Local Field Effect in Diffraction Radiation from a Periodical System of Dielectric Spheres / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // VII International Symposium "RREPS–07". Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures: Book of Abstracts. – Prague, Czech Republic, 2007. – P. 72.

289. Ryazanov M. I. Smith-Purcell Radiation from a Grating Made of Thin Dielectric Strips / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // VII International Symposium "RREPS–07". Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures: Book of Abstracts. – Prague, Czech Republic, 2007. – P. 29.

290. Ryazanov M. I. X-ray Transition Radiation in External Field / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // VII International Symposium "RREPS–07" Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures: Book of Abstracts. – Prague, Czech Republic, 2007. – P. 63.

291. Рязанов М. И. Эффект локального поля в излучении Смита-Парселла от системы наночастиц / М. И. Рязанов, А. А. Тищенко // Научная сессия МИФИ – 2007. Сборник научных тру-

дов. – М. : МИФИ, 2007. – Т.5: Медицинская физика. Моделирование физических процессов в окружающей среде. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Биофизика. Теоретические проблемы физики. – С. 66–68.

2008

292. Andreev S. V. Diffraction Radiation of a Dielectric Wedge at the Resonance Frequency / S. V. Andreev, M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov // *Laser Physics*. – 2008. – Vol. 18, 1. – P. 58–62.

293. Ryazanov M. I. Applicability Condition of Macroscopic Transition Radiation Theory / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // *International Conference Channeling (25 October – 1 November 2008): Book of Abstracts*. – Erice (Trapani), Italy, 2008. – P. 72.

294. Ryazanov M. I. Local Field Effect in Diffraction Radiation from a Periodical System of Dielectric Spheres / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B – Beam Interactions with Materials and Atoms*. – 2008. – Vol. 266, 17. – P. 3811–3815.

295. Дифракционное излучение релятивистских частиц : учебное пособие / А. П. Потылицын [и др.] – Томск : ТПУ, 2008. – 346 с.

2009

296. Ryazanov M. I. Backward Transition Radiation from a Plane Surface Covered with a Layer of Nanoparticles / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // *VIII International Symposium "Radiation from Relativistic Electrons in Periodical Structures" (RREPS–09): Book of Abstracts*. – Zvenigorod, 2009. – P. 29–30.

297. Ryazanov M. I. Diffraction Radiation of a Fast Particle Induced by an External Field / M. I. Ryazanov // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2009. – Vol. 108, 1. – P. 1–4.

298. Ryazanov M. I. Local Field Effects for Dielectric Function of Semiinfinite Dielectric Covered with a Monolayer of Other Particles /

M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2009): Book of Abstracts. – Moscow, 2009. – P. 24.

299. Ryazanov M. I. On the Interference Effects in Diffraction Radiation / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // VIII International Symposium "Radiation from Relativistic Electrons in Periodical Structures" (RREPS-09): Book of Abstracts. – Zvenigorod, 2009. – P. 49.

300. Рязанов М. И. Дифракционное излучение быстрой частицы, индуцированное внешним полем / М. И. Рязанов. – (Атомы, молекулы, оптика) // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2009. – Т. 135, вып. 1. – С. 5–9.

2010

301. Diffraction Radiation from Relativistic Particles / A. P. Potylitsyn [et al.]. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 277 p. – (Springer Tracts in Modern Physics. Vol.239).

302. Ryazanov M. I. The Effect of Excitation on the Dielectric Properties of a Substance / M. I. Ryazanov // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2010. – Vol. 111, 4. – P. 541–543.

303. Ryazanov M. I. UV and soft X-ray Backward Transition Radiation: Dependence on Surface Profile / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // IV International Conference "Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena", October 3 – 8, 2010, Ferrara, Italy (Channeling 2010): Book of Abstracts. – Ferrara, 2010. – P. 208.

304. Ryazanov M. I. X-ray Backward Transition Radiation from Periodical Target / M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov, A. A. Tishchenko // IV International Conference "Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena", October 3 – 8, 2010, Ferrara, Italy (Channeling 2010): Book of Abstracts. – Ferrara, 2010. – P. 222.

305. Рязанов М. И. О влиянии возбуждения вещества на его диэлектрические свойства / М. И. Рязанов. – (Атомы, молекулы, оптика) // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2010. – Т. 138, вып. 4. – С. 612–615.

2011

306. Glazkova E. A. High Frequency Transition Radiation from Uniaxial Crystal / E. A. Glazkova, M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov // IX International Symposium "Radiation from Relativistic Electrons in Periodical Structures" (RREPS-11), Egham, England, September 12–16, 2011: Book of Abstracts. – Egham, 2011. – P. 45.

307. Глазкова Е. А. Зависимость переходного излучения ультрарелятивистской частицы от ориентации поверхности одноосного монокристалла / Е. А. Глазкова, М. И. Рязанов // Научная сессия МИФИ – 2011. Сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2011. – Т.2: Фундаментальные проблемы науки. – С. 172. – Секция: Теоретические проблемы физики.

308. Излучение Смита-Парселла от структуры с двумя периодами / А. А. Пономаренко [и др.] // Научная сессия МИФИ – 2011. Сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2011. – Т.2: Фундаментальные проблемы науки. – С. 39.

2012

309. Coherent X-ray Cherenkov and Transition Radiation at Bunch Oblique Incidence on a Target as X-ray Source / A. A. Tishchenko [et al.] // V International Conference "Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena", September, 2012, Alghero, Italy (Channeling 2012): Book of Abstracts. – Alghero, 2012. – P. 172.

310. Glazkova E. A. High Frequency Transition Radiation from Uniaxial Crystal / E. A. Glazkova, M. I. Ryazanov, M. N. Strikhanov // Journal of Physics, Conference Series. – 2012. – Vol. 357. – P. 012014(1–6).

311. Terahertz Radiation from Electrons Moving through a Waveguide with Variable Radius Based on Smith-Purcell and Cherenkov Mechanisms / A. A. Ponomarenko [et al.] // V International Conference "Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena", September, 2012, Alghero, Italy (Channeling 2012): Book of Abstracts. – Alghero, 2012. – P. 171.

312. Глазкова Е. А. Излучение Смита-Парселла при пролете заряженной частицы между двух полубесконечных периодических мишеней / Е. А. Глазкова, М. И. Рязанов, М. Н. Стриханов // Научная сессия МИФИ – 2012. Сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2012. – Т.2: Проблемы фундаментальной науки. Стратегические информационные технологии. – С. 194. – Секция: Теоретические проблемы физики.

313. Терагерцовое излучение при пролете электронов сквозь отверстие в мишени с периодически изменяющимся внутренним радиусом / А. А. Пономаренко [и др.] // Научная сессия МИФИ – 2012. Сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2012. – Т.2: Проблемы фундаментальной науки. Стратегические информационные технологии. – С. 195. – Секция: Теоретические проблемы физики.

2013

314. Дубовик В. М. Зависимость анизотропии раствора осесимметричных молекул от частоты электромагнитного поля / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2013. – Т. 2, № 2. – С. 133–137.

315. Дубовик В. М. Переходное излучение больших частот от поверхности сложного профиля / В. М. Дубовик, М. И. Рязанов // Ядерная физика. – 2013. – Т. 76, № 6. – С. 728–733.

316. Эффекты когерентности в поляризационном терагерцовом излучении сгустка электронов в канале / А. А. Пономаренко [и др.] // Научная сессия МИФИ – 2013. Сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2013. – Т.2: Проблемы фундаментальной науки. Стратегические информационные технологии. – С. 54. – Секция: Когерентные явления в сверхпроводниках и наноструктурах.

Авторские свидетельства

317. Способ регистрации быстрых заряженных частиц : а. с. №738454 СССР / авт. пр. Д. Б. Рогозкин, авт. пр. М. И. Рязанов; заявл. 04.01.1979.

318. Способ регистрации быстрых заряженных частиц : а. с. №784528 СССР / авт. пр. Д. Б. Рогозкин, авт. пр. М. И. Рязанов; заявл. 24.07.1979.

319. Способ спектрометрии ионизирующего излучения : а. с. №953909 СССР / авт. пр. В. К. Ляпидевский, авт. пр. М. И. Рязанов; заявл. 24.02.1981.

320. Способ определения энергетической плотности локализованных электронных состояний : а. с. №1023891 СССР / авт. пр. В. Г. Кудрявцев, авт. пр. М. И. Рязанов, авт. пр. С. Н. Тараскин; заявл. 10.09.1981.

321. А. с. №1092361 СССР, МПК⁵ G01B11/16 / Интегрально-оптический тензодатчик / авт. пр. Ю. А. Быковский, авт. пр. Ю. В. Бородакий, авт. пр. Д. Б. Рогозкин, авт. пр. М. И. Рязанов, авт. пр. В. Л. Смирнов. – № 3520625; заявл. 08.12.1982; опубл. 15.05.1984. – 2 с.

Авторский указатель

- Andreev, S. V. 292,
Brown, R. C. 81,
Chukhovskii, F. N. 33,
Dubovik, V. M. 232, 242, 255, 268,
269, 281,
Dudarev, S. L. 129, 130, 150, 151,
173, 183, 184, 195, 202, 206,
Glazkova, E. A. 306, 310,
Goreslavsky, S. P. 81,
Gorkunov, M. V. 222, 233, 234,
Gorodnichev, E. E. 173, 184, 195,
202,
Ivliev, S. V. 223,
Kalashnikov, N. P. 16, 17, 18, 30, 33,
34, 37, 45, 50, 62, 152,
Klinger, M. I. 153, 174, 176, 194,
Koptelov, E. A. 50, 62,
Koshelev, I. B. 248, 257, 270,
Kudryavtsev, V. G. 34, 37, 41, 42,
131, 153, 174, 176, 194,
Lyapidevskii, V. K. 103, 223, 224,
249,
March, N. H. 80, 81,
Marmazeev, M. V. 225, 243,
Mashkova, E. S. 132,
Osipov, V. A. 235,
Peng, L. M. 206,
Ponomarenko, A. A. 311,
Potylitsyn, A. P. 301, 309,
Remizovich, V. S. 45, 104, 132, 152,
Rogozkin, D. B. 114, 173, 184, 195,
202,
Ryazanov, M. I. 14, 16, 17, 18, 30,
33, 34, 37, 41, 42, 45, 50, 51, 62, 69,
80, 81, 82, 91, 103, 104, 114, 129,
130, 131, 132, 142, 150, 151, 152,
153, 173, 174, 175, 176, 183, 184,
194, 195, 202, 206, 207, 210, 211,
212, 217, 219, 220, 222, 223, 224,
225, 226, 227, 232, 233, 234, 235,
242, 243, 244, 248, 249, 250, 255,
256, 257, 258, 259, 260, 261, 268,
269, 270, 271, 272, 277, 281, 282,
283, 288, 289, 290, 292, 293, 294,
296, 297, 298, 299, 301, 302, 303,
304, 306, 309, 310, 311,
Safronov, A. N. 211, 212, 220, 226,
Snisar, V. A. 132,
Sofronova, V. V. 309,
Strikhanov, M. N. 272, 288, 289,
290, 292, 293, 294, 296, 298, 299,
301, 303, 304, 306, 309, 310, 311,
Taraskin, S. N. 131, 153, 174, 176,
194,
Tilinin, I. S. 82, 104, 132,
Tishchenko, A. A. 259, 272, 282,
288, 289, 290, 293, 294, 296, 298,
299, 301, 303, 304, 309, 311,
Алексеев, А. И. 61,
Анастасевич, В. С. 27, 28,
Андреев, С. П. 70, 71, 92, 133, 143,
Бабаджан, Е. И. 105, 141,
Базылев, В. А. 61,
Барышевский, В. Г. 102,
Берков, А. В. 40,
Берченко, Е. А. 61,
Болятко, В. В. 27, 28,
Быковский, Ю. А. 52,
Варданыч, Э. С. 267,
Викторов, А. А. 27, 28,
Гинзбург, В. Л. 267,
Глазкова, Е. А. 307, 312,
Гольтяев, О. М. 144,
Горкунов, М. В. 228, 236, 237, 238,

Городничев, Е. Е. 180, 182, 188, 189, 192, 193, 196, 200, 201, 205, 208,
Девятко, Ю. Н. 26, 38, 40,
Добрецов, Ю. П. 94,
Дубовик, В. М. 245, 246, 251, 252, 284, 314, 315,
Дударев, С. Л. 122, 134, 135, 145, 146, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 169, 177, 178, 179, 180, 182, 185, 186, 187, 188, 189, 192, 193, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204, 205, 208,
Землянов, М. Г. 86,
Зимин, Ю. А. 52,
Иванов, В. И. 63, 64, 67, 73, 74,
Иванов, Ю. Б. 61,
Ивлиев, С. В. 229, 239, 240, 273, 278, 285,
Калашников, Н. П. 9, 13, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 31, 35, 36, 38, 39, 40, 46, 47, 48, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 63, 64, 65, 72, 73, 83, 96, 106,
Калашникова, Ю. С. 88,
Климанов, В. А. 27, 28,
Клингер, М. И. 147, 163, 164, 166,
Коптелов, Э. А. 26, 38, 40, 54, 55, 57, 58, 66,
Косачев, В. В. 141,
Кошелев, И. Б. 264,
Кронгауз, А. Н. 63, 64, 67,
Крыжановский, Б. В. 267,
Кудрявцев, В. Г. 36, 39, 43, 44, 49, 61, 107, 136, 137, 147, 161, 163, 164, 166,
Ларкин, А. И. 52,
Лейпунский, О. И. 27, 28,
Липунов, А. Д. 27, 28,
Литвиненко, А. Г. 162,
Лохов, Ю. Н. 141,
Лысцов, В. Н. 73,
Ляпидевский, В. К. 108, 229, 230, 239, 240, 253,
Максимов, Л. А. 94,
Манькин, Э. А. 25,
Мармазеев, М. В. 231, 241,
Мацкевич, В. К. 38,
Машкова, Е. С. 128,
Машкович, В. П. 27, 28,
Ольчак, А. С. 96,
Панкратов, С. Г. 65,
Пенг, Л. М. 204,
Пичугин, В. В. 27, 28,
Подсевалов, Ю. Н. 27, 28,
Пономаренко, А. А. 308, 313, 316,
Портной, Ю. В. 27, 28,
Потылицын, А. П. 295,
Ремизович, В. О. 26,
Ремизович, В. С. 38, 40, 46, 47, 48, 56, 61, 63, 64, 65, 67, 74, 75, 76, 77, 84, 89, 97, 98, 99, 106, 109, 110, 111, 112, 116, 117, 118, 123, 124, 125, 126, 128, 139, 165, 170, 171, 172, 190,
Рогозкин, Д. Б. 118, 119, 123, 124, 126, 127, 139, 140, 170, 172, 180, 182, 188, 189, 190, 192, 193, 200, 201, 205, 208,
Руденко, А. И. 59, 61, 133, 143,
Рязанов, А. И. 94,
Рязанов, М. И. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 35, 36, 38, 39, 40, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97,

98, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 107,
108, 109, 110, 111, 112, 113, 115,
116, 117, 118, 119, 120, 121, 122,
123, 124, 125, 126, 127, 128, 133,
134, 135, 136, 137, 138, 139, 140,
141, 143, 144, 145, 146, 147, 148,
149, 154, 155, 156, 157, 158, 159,
160, 161, 162, 163, 164, 165, 166,
167, 168, 169, 170, 171, 172, 177,
178, 179, 180, 181, 182, 185, 186,
187, 188, 189, 190, 191, 192, 193,
196, 197, 198, 199, 200, 201, 203,
204, 205, 208, 209, 213, 214, 215,
216, 218, 221, 228, 229, 230, 231,
236, 237, 238, 239, 240, 241, 245,
246, 247, 251, 252, 253, 254, 262,
263, 264, 265, 266, 267, 273, 274,
275, 276, 278, 279, 280, 284, 285,
286, 287, 291, 295, 300, 305, 307,
308, 312, 313, 314, 315, 316,
Сафронов, А. Н. 214, 215, 216,
Сахаров, В. К. 27, 28,
Сергеева, Д. Ю. 316,
Смилга, В. П. 83,
Снисарь, В. А. 128,
Стриханов, М. Н. 273, 274, 275,
278, 285, 295, 308, 312, 313, 316,
Тараскин, С. Н. 107, 136, 137, 147,
161, 163, 164, 166, 168,
Тилинин, И. С. 85, 92, 109, 110,
111, 112, 116, 117, 121, 125, 128,
167,
Тищенко, А. А. 266, 274, 275, 280,
286, 291, 295, 308, 313, 316,
Фролов, В. В. 165, 171,
Чернов, А. С. 40,
Чуховский, Ф. Н. 35,