
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

УДК 537.6

ФИЗИКА МАГНЕТИКОВ: НАУЧНАЯ ШКОЛА Е.А. ТУРОВА

© 2014 г. В. В. Устинов, М. И. Куркин, А. П. Танкеев

Институт физики металлов УрО РАН, 620990 Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

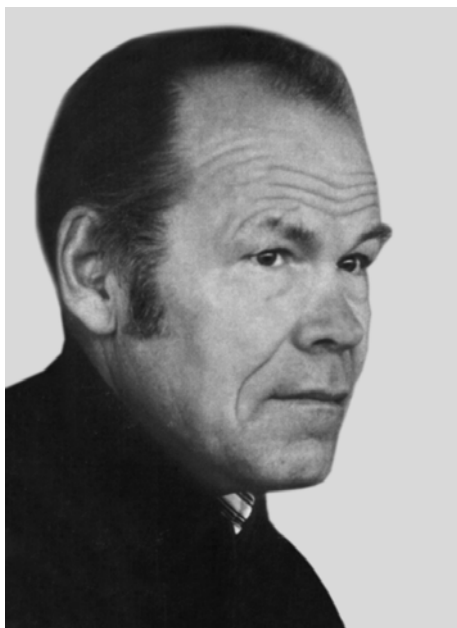
E-mail: tankeyev@imp.uran.ru

Поступила в редакцию 20.02.2014 г.;
в окончательном варианте – 20.05.2014 г.

Настоящая работа посвящена известному ученому в области физики магнитных явлений, члену-корреспонденту РАН Евгению Акимовичу Турову. Статья включает анализ актуальных вопросов физики магнетизма начала XXI века, а также вклада Е.А. Турова и созданной им школы в науку о магнетизме. В 2014 г. исполняется 90 лет со дня рождения Евгения Акимовича, и данная статья приурочена к этой памятной дате. В ней приводится список основных трудов ученого.

Ключевые слова: магнитная структура, антиферромагнетизм, динамические и кинетические свойства, магнитоупругость, спонтанное нарушение симметрии, ядерный магнитный резонанс, магнитоэлектричество и мультиферроики.

DOI: 10.7868/S0015323014110072



Е.А. Туров

1. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ НАЧАЛА XXI ВЕКА

Вступительную статью к этому выпуску журнала “Физика металлов и металловедение”, посвященному Евгению Акимовичу Турову, мы начнем с описания современного ландшафта науки о магнетизме начала XXI века, сосредоточившись на ее “горячих точках”. В современном магнетизме существует два направления, которые можно

определить как физику магнитных явлений и прикладной магнетизм. Несмотря на то, что эти два направления крепко связаны между собой, по целям и задачам исследований они все-таки различаются. Если физика магнитных явлений сосредоточена на фундаментальных исследованиях, то цели прикладного магнетизма – разработка и создание новых магнитных материалов, а также использование их в различных технических устройствах. Основная проблема получения магнитных материалов с заданными свойствами состоит в том, что их магнитные свойства в значительной степени определяются атомной и кристаллической структурой. Поскольку теория атомного и кристаллического строения конденсированных сред пока еще далека от совершенства, результаты синтеза таких материалов плохо поддаются прогнозу и, в значительной степени, зависят от искусства технологов.

Существующая теория магнитных явлений предполагает атомную структуру вещества заданной и слабо зависящей от его магнитной структуры, определяемой типом упорядочения спинов электронов. Принятое приближение, которое принято называть адиабатическим, позволяет адекватно описать подавляющее большинство процессов и явлений, определяющих наблюдаемые магнитные свойства конденсированных сред и соответствующие направления исследований. К ним относятся различные типы спиновых упорядочений (ферромагнетизм, антиферромагнетизм, несоизмеримые структуры), высокочастотные свойства магнетиков (ферро- и антиферромагнитный резонансы, резонанс на

стоячих спиновых волнах, параметрическое возбуждение спиновых волн), магнитоакустические явления, магнитооптика, ядерные методы в магнетизме (ЯМР, ЯГР, магнитное рассеяние нейтронов) и др. *В различные периоды времени каждое из этих направлений было в центре внимания.* В результате магнитная тематика неизменно оказывалась представленной в значительном числе публикаций в ведущих международных научных журналах, начиная с 30-х годов прошлого века. Последние два десятилетия не являются исключением. Это связано с открытием целого ряда эффектов, которые справедливо считаются сенсационными: гигантского магнитосопротивления, колоссального магнитосопротивления, а также гигантского магнитоэлектрического эффекта и сверхбыстрой магнитной динамики.

Эффект магнитосопротивления (МС) (зависимость электросопротивления ρ от магнитного поля H) был обнаружен П.Л. Капицей еще в 20-е годы прошлого века. Для количественного описания МС используется отношение

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = (\rho(H) - \rho(0))/\rho(0).$$

В немагнитных металлах величина $\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx 10^{-5}$ слишком мала для технических приложений. В ферромагнитных металлах отношение $\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx 10^{-2}$.

Этой величины оказалось недостаточно в ряде технических приложений при преобразовании магнитных сигналов в электрические, в частности, в устройствах для считывания информации с магнитных носителей. Качественный скачок в поиске материалов с большим МС возник в 1988 г. благодаря созданию нового класса магнитных материалов — магнитных металлических гетероструктур Fe-Cr с толщиной слоев хрома $\approx 10^{-7}$ см [1]. В таких неоднородных материалах величину МС удалось поднять до значений в несколько десятков процентов. Это явление получило название гигантского МС (ГМС). За открытие эффекта гигантского магнитосопротивления в 2007 г. Петеру Грюнбергу (Peter Grünberg) и Альберту Феру (Albert Fert) была присуждена Нобелевская премия по физике. Это открытие стало моментом рождения новой области электроники — спинтроники, в которой спин электрона также важен, как и его заряд.

Значения $\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx 10^4$ (эффект колоссального МС (КМС)) были обнаружены в манганитах лантана, допированных двухвалентными элементами [2]. Однако плохая воспроизводимость результатов по $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ препятствует использованию манганитов в

качестве рабочего вещества в технических устройствах. Тем не менее, с научной точки зрения, эффект КМС останется актуальным направлением в магнетизме до тех пор, пока не будет предложен приемлемый механизм формирования этого эффекта.

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект (намагничивание постоянным электрическим полем E и электрическая поляризация постоянным магнитным полем H) был открыт Д.Н. Астровым в 1960 году в соединении Cr_2O_3 . Существование МЭ-эффекта в веществах с симметрией решетки Cr_2O_3 годом ранее было предсказано И.Е. Дзялошинским на основе идей, выдвинутых Л.Д. Ландау в 1956 г. Хотя связь электричества и магнетизма была хорошо известна в электродинамике Фарадея—Максвелла, но там она имела место только для переменных и неоднородных полей E и H . Это было обусловлено тем, что в материальных уравнениях учитывались только силы Кулона и Лоренца. Для МЭ-эффекта Ландау—Дзялошинского—Астрова важен еще один тип сил, обусловленных взаимодействием поля E (в том числе и постоянного) со спинами электронов, которое существует в квантовой электродинамике. В частности, спин-орбитальное взаимодействие, ответственное за магнитную кристаллическую анизотропию, является одним из проявлений этого взаимодействия. Однако его количественное описание на языке динамических уравнений связано со значительными математическими трудностями, поэтому при рассмотрении МЭ-эффекта долгое время ограничивались лишь симметричным описанием, предложенным Дзялошинским.

Положение изменилось после открытия в 2003 г. гигантского МЭ-эффекта в висмутовом феррите [3], который в тысячу раз превосходит МЭ-эффект в Cr_2O_3 . Такой величины МЭ-эффект уже становится перспективным для технических приложений. Это вызвало интерес к изучению микроскопических механизмов МЭ-эффекта, в особенности в веществах, получивших название мультиферроиков. Первоначально к ним относили вещества по крайней мере с двумя из трех фазовых переходов: магнитного, сегнетоэлектрического и деформационного. Теперь к мультиферроикам стали относить также среды с аномально большими значениями электрической и магнитной проницаемостями. Тема мультиферроиков сейчас является еще одной из наиболее “горячих точек” в магнитной тематике.

Сверхбыстрая магнитная динамика с характерными временами пикосекундного ($\tau \approx 10^{-12}$ с) масштаба была обнаружена при воздействии фемтосекундных ($\tau_p \approx (10^{-13} - 10^{-14})$ с) лазерных импульсов на вещества со спиновым упорядочением. Первым таким веществом стал ферромагнитный никель, в котором сверхбыстрая магнитная динамика была обнаружена в 1996 г. [4]. Здесь

необходимо отметить специфику оптического возбуждения электронов, при котором размер магнитных неоднородностей сравним с длиной световой волны $\lambda \approx 10^{-6}$ м. Для таких неоднородностей изменение обменной энергии соответствует частотам около 1 МГц. По этой причине спиновая динамика должна определяться полями магнитной анизотропии, размагничивающими полями поверхности образца и др. Их величины сравнимы с полем $H \approx 10^3$ Э, что соответствует частотам $\nu = \gamma H = 1$ ГГц = 10^9 Гц и периодам $\tau_s = 10^{-9}$ с. Это означает, что характерные времена сверхбыстрой магнитной динамики $\tau \approx 10^{-12}$ с не могут быть обусловлены спинами с точки зрения существующей теории спинового магнетизма.

Другой результат, который здесь следует упомянуть, связан с теоретическим пределом для времени спиновой переориентации 2×10^{-12} с = 2 пс, установленным в 2004 г. [5]. Однако в 2007 г. была обнаружена спиновая переориентация под действием лазерного импульса с длительностью $\tau_p = 4 \times 10^{-14}$ с = 40 фс [6]. Таким образом, теоретический предел оказался превзойденным в 50 раз. Здесь возможны два подхода к этой проблеме: (1) радикальная ревизия существующей теории спинового магнетизма; (2) поиск посредника между оптической накачкой и спинами. Этот посредник должен быть способным изменить свое состояние за время τ_p и сохранить эти изменения на интервале времени τ_s , необходимом для спиновой переориентации. Большинство авторов работ по сверхбыстрой магнитной динамике ищут решение этой проблемы с использованием первого варианта. Однако пока эти попытки оказываются безуспешными. Вариант с орбитальным магнетизмом в качестве посредника пока удалось обосновать только качественно с использованием правил отбора, законов сохранения и соотношений неопределенности [7]. Но и здесь предстоит еще большая работа по созданию количественного варианта теории с использованием динамических уравнений. Выше отмечена только небольшая часть результатов, полученных с помощью фемтосекундной магнитооптики. Но даже их достаточно, чтобы считать сверхбыструю магнитную динамику фундаментальной проблемой магнетизма, решение которой пока трудно предугадать.

Притягательной областью исследований остается изучение нелинейных волновых процессов в магнетиках. Здесь особая роль принадлежит спиновым волнам. Достоверно установлена глубокая корреляция между спектром линейных спиновых волн и основными свойствами нелинейных магнитных структур – уединенных волн намагниченности, солитонов, вихрей и др. В основном это актуально для солитонов огибающей спиновых волн, которые в настоящее время уверенно генерируются и наблюдаются экспериментально. Со-

литоны огибающей представляют собой устойчивые нелинейные волновые пакеты, сохраняющие свою форму при распространении в нелинейной дисперсионной среде даже при взаимодействии с другими солитонами. Эти свойства делают их привлекательными с точки зрения практических приложений, в частности, для передачи информации в технически важном диапазоне сверхвысоких частот.

2. ШКОЛА Е.А. ТУРОВА И ЕЕ ВКЛАД В НАУКУ О МАГНЕТИЗМЕ

Е.А. Туров был одним из наиболее ярких представителей известной школы физиков-магнетологов, созданной академиком С.В. Вонсовским. Евгений Акимович автор более 200 научных работ. Его первая научная работа была опубликована в 1953 г., а две последних – в 2007 (это год его смерти). Он работал и раздумывал до конца жизни. “Он перестал вычислять и жить” – так сказал французский математик и механик Кондорсе о великом Эйлере. Наверное, эти слова верны и для Е.А. Турова.

Список основных публикаций творческого коллектива, с которым работал Е.А. Туров, приведен в конце этой статьи. Среди них статьи по актуальным проблемам магнетизма, обобщающие обзоры, которых двенадцать, и монографии, которых восемь, по актуальным направлениям исследований, написанные совместно с учениками, коллегами и последователями. Наличие лидера, высокая квалификация исследователей, группирующихся вокруг него, значимость полученных результатов, обобщающие работы, формирующие научную идеологию, стиль мышления и стиль работы коллектива – главные признаки сформировавшейся научной школы, которыми, несомненно, обладала школа Е.А. Турова.

2.1. Первые научные работы Е.А. Турова появились в начале 50-х годов прошлого века. (В дальнейшем изложении ссылки на работы Е.А. Турова из списка основных публикаций будут снабжаться буквой Т.) У физики второй половины XX века тоже были свои “горячие точки”. В то время наибольшие успехи в физике были связаны с квантовой электродинамикой. Они были достигнуты благодаря развитию экспериментальной техники исследования элементарных частиц, а также успехом теоретического описания квантовых свойств релятивистских электронов и фотонов. Успехам теории способствовала разработка новых методов математического описания квантовых объектов: вторичного квантования, диаграммной техники Фейнмана и метода функций Грина. Применение этих методов в теории конденсированных сред, в частности, в работах, связанных с проблемой многих тел, тогда только начиналось. Е.А. Туров был одним из первых, кто применил метод вторичного

квантования для описания кинетических и динамических свойств магнитоупорядоченных веществ. Широкое использование нового гибкого математического аппарата позволило значительно сократить объем вычислений и получить ряд формул, на которые затем ссылались не один десяток лет. По результатам этих исследований в 1954 г. Е.А. Туров защитил кандидатскую диссертацию “К квантовой теории кинетических процессов в ферромагнитных металлах”.

2.2. Другое направление исследований Е.А. Тулова в 50-е годы прошлого века связано с теорией антиферромагнитного упорядочения спинов электронов. Здесь Е.А. Туров выполнил целый ряд пионерских работ, и его по праву можно назвать одним из основоположников науки об антиферромагнетизме. Известно, что антиферромагнетики составляют подавляющее большинство среди магнитоупорядоченных материалов. Они обладают уникальными свойствами: магниторезонансными, магнитодинамическими (линейными и нелинейными), оптическими, акустическими и т.д. К их числу можно также причислить кинетические явления, например, такие как гальваномагнетизм, фазовые переходы, мягкие моды и др. Евгений Акимович особо отмечал, что антиферромагнетики интересны не только с точки зрения открытия новых физических явлений, но и перспективны как функциональные материалы новой твердотельной электроники. Считается, что любое спиновое упорядочение обусловлено обменным взаимодействием V_{ex} , поскольку V_{ex} является наиболее сильным из всех взаимодействий, в которых участвуют электронные спины. Однако его учет делает соответствующие уравнения для макроскопического числа спинов настолько сложными, что их строгое решение удается получить только в случае ферромагнитного упорядочения. При рассмотрении других типов спиновых структур приходится делать неконтролируемые приближения. Одним из них является гипотеза магнитных подрешеток, предложенная Неелем для описания веществ типа антиферромагнетиков, ферритов и др.

Вторая трудность, возникающая при описании магнитных свойств веществ со спиновым упорядочением, обусловлена тем, что эти свойства определяются не только V_{ex} , но и гораздо более слабыми взаимодействиями спинов, в частности, с кулоновским полем ионов кристаллической решетки. Поскольку строгое описание действия кристаллического поля на спины требует привлечения законов квантовой электродинамики, то это обстоятельство, наряду с обменным взаимодействием, еще более усложняет динамические уравнения для электронных спинов в магнетиках. Однако была найдена возможность для их упрощения за счет использования экспериментальных данных о свойствах симметрии исследуемых

сред. Такой симметричный подход хорошо известен в теории элементарных частиц, для которых уравнения динамики можно получить, полагаясь только на анализ экспериментальных данных. В это время Е.А. Туров принял активное участие в разработке симметричного подхода применительно к описанию различных свойств магнетиков со сложной магнитной структурой. В частности, им была разработана схема упрощенного симметричного анализа, позволяющая значительно сократить объем вычислений и получить простые соотношения для параметров веществ с конкретной кристаллической симметрией, допускающие непосредственное сравнение с экспериментальными данными. Результаты этих исследований составили содержание его докторской диссертации, защищенной в 1962 г. По ее материалам была издана монография “Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов”, которая и сейчас популярна среди специалистов, в особенности экспериментаторов, по магнетизму [Т27].

Приложению этих методов для описания оригинальных свойств антиферромагнитно-упорядоченных сложных оксидов переходных металлов, таких как антиферромагнитный фотогальванический эффект, особенности взаимодействия спиновых волн с оптическими фонами, влияния этого взаимодействия на структурные фазовые переходы и переходы в несоизмеримые структуры, посвящен обзор В.В. Меньшенина “Симметричный анализ сложных оксидов переходных металлов”, представленный в этом выпуске журнала ФММ.

2.3. Сенсационным открытием начала 60-х г. прошлого века считалось обнаружение ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в магнитоупорядоченных веществах. К этому времени с помощью ЯМР были достигнуты большие успехи в расшифровке структуры молекул сложных химических соединений, включая белки и нуклеиновые кислоты. Предполагалось, что этот метод окажется столь же полезным при решении проблем спинового магнетизма. Это обстоятельство сделало ЯМР популярным направлением в магнитной тематике. Ядерные спины находятся в магнетиках в особой ситуации по сравнению с другими (магнитно-неупорядоченными веществами). На всем их поведении радикальным образом сказывается электронно-ядерное взаимодействие и внешнее магнитное переменное поле резонансной частоты. Ядерные спины один другого “видят” (взаимодействуют) в основном через систему электронных спинов. С этим связаны многие оригинальные (зачастую необычные) свойства магнетиков как с точки зрения ЯМР, так и других динамических явлений. В нашей стране наибольший интерес был связан с изучением спиновых возбуждений нового типа — ядерных спиновых волн. В отличие от электронных спиновых волн, они существуют в

парамагнитной, а не в упорядоченной системе спинов. Это обусловлено большим радиусом взаимодействия между ядерными спинами в магнетиках, который в антиферромагнетиках может достигать сотен и даже тысяч межатомных расстояний. Для сравнения укажем, что радиус обменного взаимодействия между спинами сравним с периодом кристаллической решетки.

Поскольку в парамагнитном состоянии флуктуации отдельного спина значительно превышают его среднюю величину, то среднее значение обменного поля может превысить его флуктуации только в упорядоченном состоянии. Иная ситуация возникает при большом радиусе взаимодействия. Поскольку случайные флуктуации разных спинов гасят друг друга, то среднее значение результирующего поля от большого числа спинов может превысить его флуктуации даже в неупорядоченном парамагнитном состоянии. Возникающие при этом сильные спин-спиновые корреляции не только формируют спиновые волны, но и обеспечивают существование различных нелинейных явлений, источником которых является зависимость частоты колебаний ядерных спинов от их амплитуды. Теория перечисленных особенностей ЯМР в магнетиках разрабатывалась при активном участии Е.А. Турова [Т46, Т48]. Проблемы ЯМР для него были интересны всегда, более сорока лет. Его первая работа по ЯМР в магнетиках появилась в 1965 г., а последняя — в 2005 г. В работе, написанной Е.А. Туровым вместе с учениками 2003 г., обсуждалось новое явление — возбуждения ЯМР не магнитным полем, а электрическим [Т121]. Этот эффект — следствие динамического проявления магнитоэлектрического и антиферроэлектрического взаимодействий в магнетиках. По ЯМР в магнетиках он издал две монографии [Т38, Т88].

В настоящем выпуске представлены две статьи по ЯМР-спектроскопии магнетиков: А.П. Танкева, М.А. Борича и В.В. Смагина “Ядерный магнитный резонанс в магнетиках с геликоидальной спиновой структурой во внешнем магнитном поле”, а также К.Н. Михалева и З.Н. Волковой “Ядерный магнитный резонанс в манганитах”.

2.4. Еще одно направление, к которому Е.А. Туров уделял большое внимание на протяжении всей своей жизни в науке, относится к магнитоупругим явлениям [Т70, Т73, Т81]. В частности, его работа с Ю.П. Ирхиным “О спектре колебаний ферромагнитной упругой среды” 1956 г. является первой публикацией в мировой литературе по магнитоакустике [Т8]. Магнитоупругая тематика оказалась в центре внимания специалистов по магнетизму в 60–70-е гг. прошлого века в связи с обнаружением эффекта, который можно рассматривать как возникновение магнитной анизотропии в изотропной магнитоупругой среде. Этот эффект проявляется в существовании характерной частоты

в спектре сверхвысокочастотных магнитных возбуждений, получившей название магнитоупругой щели. Е.А. Туров предложил наиболее удачное решение проблемы магнитоупругой щели, связав ее с эффектом спонтанного нарушения симметрии. В то время этот эффект широко обсуждался в теории калибровочных полей в связи с объяснением спектра масс элементарных частиц (Нобелевские премии по физике С. Вайнберга, Ш. Глэшоу и А. Салама за вклад в объединенную теорию слабых и электромагнитных взаимодействий между элементарными частицами, 1979 г. и Д. Кронина и В. Фитча за открытие нарушения фундаментальных принципов симметрии при распаде нейтральных K -мезонов, 1980 г.). Работы Е.А. Турова по различным магнитоупругим эффектам, которые внесли значительный вклад в теорию магнитоупругости, стали основополагающими для физики магнитных явлений. В 1986 г. за работы по магнитоакустике Е.А. Туров в составе коллектива авторов был удостоен Государственной премии Украины.

В 90-е и 2000-е гг. Е.А. Туров основное внимание уделял написанию книг и обзоров, поскольку хотел успеть подвести итоги своей научной деятельности. Однако он написал также несколько основополагающих оригинальных работ [Т99, Т119, Т122], в которых предложил новые идеи в основном по магнитоэлектричеству и мультиферроикам. Как отмечалось выше, в 2000-е гг. интерес к магнитоэлектрической тематике сместился в направлении поиска микроскопических механизмов магнитоэлектрического эффекта. Последняя работа Е.А. Турова [Т128] относится к этому направлению. В ней предложена идея о существовании связи параметров МЭ-эффекта с константами магнитной анизотропии такого же типа, как связь между константами магнитной анизотропии и магнитострикции. Отличие состоит только в том, что энергия магнитострикции получается разложением энергии магнитной анизотропии по степеням смещений атомов, соответствующих акустическим ветвям фононов. Магнитоэлектрические взаимодействия получаются при аналогичном разложении, но по степеням смещений атомов, соответствующих оптическим ветвям фононов. Сложность симметричного анализа таких разложений состоит в том, что магнитоэлектрики имеют сложный химический состав, поэтому их кристаллическая структура характеризуется несколькими десятками ветвей оптических фононов. В этой работе Е.А. Туровым предложен простой способ выделения электроактивных ветвей оптических фононов, связанных с электрической поляризацией. Обычно их число не превышает нескольких единиц, что значительно сокращает объем вычислений при симметричном анализе МЭ-эффектов. Практический вывод из этой работы Е.А. Турова состоит в том, что хо-

рошие магнитоэлектрики следует искать среди веществ на основе соединений *d*- и *f*-переходных элементов, поскольку они обладают наибольшими значениями констант магнитной анизотропии и магнитострикции.

Вклад Е.А. Турова в науку о магнитоэлектричестве обсуждается в статье М.И. Куркина и Н.Б. Орловой “Связь магнетизма и электричества за пределами электродинамики Фарадея–Максвелла” этого номера ФММ.

Обзор Б.Н. Филиппова, М.Н. Дубовика, В.В. Зверева “Нелинейная перестройка структуры доменных границ в тонких пленках с одноосной плоскостной анизотропией”, завершающий этот выпуск журнала, посвящен эффектам пространственной дисперсии, обусловленным дальнедействующим нелокальным магнитным диполь-дипольным взаимодействием в магнетиках.

Евгений Акимович всегда был полон новых идей, которыми он щедро делился со своими учениками и коллегами, приветствуя и активно поддерживая их собственные идеи. Достаточно сказать, что он подготовил 20 кандидатов и 10 докторов наук, которые уже вместе со своими учениками составляют школу Е.А. Турова. Об этом красноречиво говорит приведенный ниже список его основных трудов. Служение Е.А. Турова науке — достойный пример для подражания.

3. ОСНОВНЫЕ ТРУДЫ Е.А. ТУРОВА

1. *Вонсовский С.В., Туров Е.А.* Об обменном взаимодействии валентных и внутренних электронов в кристаллах (*s-d* — обменная модель переходных металлов) // ЖЭТФ. 1953. Т. 24. № 3. С. 419–428.
2. *Туров Е.А., Вонсовский С.В.* О ширине линии ферромагнитного резонансного поглощения // ЖЭТФ. Письмо в редакцию. 1953. Т. 24. С. 501–503.
3. *Туров Е.А.* О зинеровской теории ферромагнетизма // ЖЭТФ. 1953. Т. 25. № 3/9. С. 352–358.
4. *Туров Е.А.* Учет магнитного взаимодействия в *s-d* обменной модели ферромагнитного металла // Доклады АН СССР. 1954. Т. 98. № 6. С. 945–948.
5. *Туров Е.А.* Релаксационные процессы в ферромагнитных металлах при низких температурах // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1955. Т. 19. С. 462–473.
6. *Туров Е.А.* Электропроводность ферромагнитных металлов при низких температурах // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1955. Т. 19. № 4. С. 474–480.
7. *Вонсовский С.В., Власов К.Б., Туров Е.А.* К квантовой теории ферромагнетизма // ЖЭТФ. 1955. Т. 29. № 1. С. 37–59.
8. *Туров Е.А., Ирхин Ю.П.* О спектре колебаний ферромагнитной упругой среды // ФММ. 1956. Т. 3. № 1. С. 15–17.
9. *Вонсовский С.В., Ирхин Ю.П., Кушниренко А.Н., Туров Е.А.* К многоэлектронной теории полупроводников I // ФММ. 1956. Т. 3. № 3. С. 385–394.
10. *Туров Е.А., Ирхин Ю.П.* К многоэлектронной теории полупроводников II. Ферромагнитные полупроводники // ФММ. 1957. Т. 4. № 1. С. 9–13.
11. *Туров Е.А.* К теории *g*-фактора в ферромагнитных металлах // ФММ. 1957. Т. 4. № 2. С. 183–184.
12. *Туров Е.А.* Феноменологическая теория ферромагнетизма и антиферромагнетизма в области низких температур // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1958. Т. 22. № 10. С. 1168–1175.
13. *Туров Е.А.* Анизотропия магнитной восприимчивости и зависимость теплоемкости от направления поля в антиферромагнетике // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 1009–1012.
14. *Туров Е.А.* К теории слабого ферромагнетизма // ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 1254–1258.
15. *Туров Е.А., Найш В.Е.* К теории слабого ферромагнетизма в редкоземельных ортоферритах // ФММ. 1960. Т. 9. С. 10–18.
16. *Туров Е.А., Мицек А.И.* О температурной зависимости магнитострикции // ЖЭТФ. 1960. Т. 38. С. 1847–1851.
17. *Туров Е.А., Гусейнов Н.Г.* О магнитном резонансе в ромбоэдрических слабых ферромагнетиках // ЖЭТФ. 1960. Т. 38. № 4. С. 1326–1331.
18. *Туров Е.А., Ирхин Ю.П.* К феноменологической теории электропроводности ферритов и антиферромагнетиков // ФММ. 1960. Т. 9. С. 488–497.
19. *Абельский Ш.Ш., Туров Е.А.* К теории температурной зависимости электропроводности и теплопроводности ферромагнетиков при низких температурах // ФММ. 1960. Т. 10. № 4. С. 801–806.
20. *Туров Е.А.* Магнитный резонанс в ферромагнетике и антиферромагнетике как возбуждение спиновых волн // В сб. Ферромагнитный резонанс. Под ред. Вонсовского С.В. М.: ГИФМЛ. 1961. Гл. III. С. 98.
21. *Туров Е.А.* Неколлинеарный ферро- и антиферромагнетизм // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1961. Т. 25. С. 1315–1320.
22. *Найш В.Е., Туров Е.А.* К теории неколлинеарного ферромагнетизма и антиферромагнетизма в ромбических кристаллах. I // ФММ. 1961. Т. 11. С. 161–168.
23. *Найш В.Е., Туров Е.А.* К теории неколлинеарного ферромагнетизма и антиферромагнетизма в ромбических кристаллах. II // ФММ. 1961. Т. 11. С. 321–330.
24. *Туров Е.А.* Условия существования слабого ферромагнетизма и классификация слабоферромагнитных структур // ЖЭТФ. 1962. Т. 42. № 6. С. 1582–1584.

25. Туров Е.А., Шавров В.Г. О некоторых гальвано- и термомагнитных эффектах в антиферромагнетиках // ЖЭТФ. 1962. Т. 43. № 6. С. 2273–2277.
26. Туров Е.А. Об эффекте продольного намагничивания антиферромагнетика поперечным циркулярно-поляризованным полем // ЖЭТФ. 1962. Т. 42. С. 1415–1416.
27. Туров Е.А. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов. М.: Издательство АН СССР, 1963. 224 с.
28. Шавров В.Г., Туров Е.А. Гальвано- и термомагнитные эффекты в антиферромагнетиках и ферромагнетиках // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1963. Т. 27. № 12. С. 1487–1494.
29. Туров Е.А., Шавров В.Г. О гальваномагнитных эффектах в ферромагнетиках вблизи точки компенсации // ЖЭТФ. 1963. Т. 45. № 2. С. 349–353.
30. Туров Е.А., Ирхин Ю.П., Шавров В.Г. Эффект Холла в ферромагнетиках с точкой компенсации // ЖЭТФ. 1964. Т. 47. С. 296–300.
31. Туров Е.А., Шавров В.Г. Энергетическая щель в ферро- и антиферромагнетиках, связанная с магнитоупругой энергией // ФТТ. 1965. Т. 7. № 1. С. 217–225.
32. Туров Е.А., Кулеев В.Г. О связанных колебаниях электронных и ядерных спинов в антиферромагнетиках // ЖЭТФ. 1965. Т. 49. С. 248–257.
33. Туров Е.А., Куркин М.И., Соколов О.Б. К теории ЯМР в ферромагнетиках с малой концентрацией магнитных ядер. I // ФММ. 1967. Т. 23. № 5. С. 786–794.
34. Туров Е.А., Куркин М.И., Соколов О.Б. К теории ЯМР в ферромагнетиках с малой концентрацией магнитных ядер. II // ФММ. 1967. Т. 24. № 1. С. 27–34.
35. Туров Е.А., Тимофеев А.И. Ядерный магнитоакустический резонанс и спин-решеточная релаксация в антиферромагнетиках типа “легкая плоскость” // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5. С. 133–135.
36. Туров Е.А., Куркин М.И. К теории ядерной магнитной резонансной восприимчивости магнитных веществ // ФТТ. 1968. Т. 10. № 11. С. 3222–3232.
37. Туров Е.А., Скрябин Ю.Н. К теории процессов релаксации в ферромагнетиках с примесями // ФТТ. 1968. Т. 10. № 11. С. 3271–3278.
38. Туров Е.А., Петров М.П. Ядерный магнитный резонанс в ферро- и антиферромагнетиках. М.: Наука. 1969. 260 с.
39. Туров Е.А., Танкеев А.П., Куркин М.И. К теории ядерной магнитной резонансной восприимчивости многодоменных ферромагнетиков. I. Анализ локальных частот // ФММ. 1969. Т. 28. № 3. С. 385–401.
40. Туров Е.А., Танкеев А.П., Куркин М.И. К теории ядерной магнитной резонансной восприимчивости многодоменных ферромагнетиков. II. Локальный коэффициент усиления и интегральная восприимчивость // ФММ. 1970. Т. 29. № 4. С. 747–756.
41. Волошинский А.Н., Туров Е.А., Савицкая Л.Ф. Анизотропия, электро- и теплопроводности ферромагнитных металлов при низких температурах // ФТТ. 1970. Т. 12. № 11. С. 3141–3150.
42. Туров Е.А., Фарздинов М.М. К теории спиновых волн в ферромагнетиках с периодической доменной структурой // ФММ. 1970. Т. 30. С. 1064–1066.
43. Фарздинов М.М., Туров Е.А. Теория спиновых волн в ферромагнетике периодической доменной структурой // ФММ. 1970. Т. 29. С. 458–470.
44. Petrov M.P., Turov E.A. Nuclear magnetic resonance in ferromagnets and antiferromagnets // Appl. Spectrosc. Revs. 1971. V. 5. P. 265–330.
45. Куркин М.И., Танкеев А.П., Туров Е.А. Магнитное рассеяние нейтронов в многодоменных ферромагнетиках // ФММ. 1972. Т. 34. № 2. С. 241–250.
46. Туров Е.А., Куркин М.И., Николаев В.В. Движение ядерных спинов в ферро- и антиферромагнетиках с учетом их взаимодействия по Сулу и Накамуре // ЖЭТФ. 1973. Т. 64. № 1. С. 283–295.
47. Туров Е.А., Куркин М.И., Танкеев А.П. Некоторые динамические эффекты доменных границ в ферромагнетиках // Труды Международной конференции по магнетизму МКМ-73. М.: Наука. 1973. Т. 2. С. 5–16.
48. Куркин М.И., Туров Е.А. Нелинейная теория ЯМР в магнитоупорядоченных веществах // ФТТ. 1974. Т. 16. № 10. С. 2849–2859.
49. Иванов С.В., Куркин М.И., Туров Е.А. К теории спин-решеточной релаксации в ферромагнетиках // ФТТ. 1974. Т. 16. № 8. С. 2206–2214.
50. Туров Е.А., Куркин М.И., Танкеев А.П., Иванов С.В. Ядерный магнитный резонанс в ферромагнетиках с доменными границами // Сб. Проблемы физики твердого тела. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. С. 171–183.
51. Финашкин В.К., Соколов О.Б., Туров Е.А. Двухзонная модель электронной структуры металлов // ФММ. Т. 39. № 5. С. 914–925.
52. Куркин М.И., Туров Е.А. Двух и тримпульсные спиновые эхо в системах с большим динамическим сдвигом частоты // ФММ. 1975. Т. 40. № 4. С. 714–728.
53. Sokolov O.B., Finashkin V.K., Turov E.A. Spin polarization of the X-Ray photoelectrons in nickel // Phys. Stat. Sol(b). 1976. V. 74. № 1. P. 35–43.
54. Иванов С.В., Туров Е.А., Куркин М.И. Влияние эффекта магнетонного “узкого горла” на ядер-

- ную спин-решеточную релаксацию в ферро- и антиферромагнетиках // ФТТ. 1976. Т. 18. № 7. С. 2038–2047.
55. Волошинский А.Н., Рыжанова Н.В., Туров Е.А. О ширине линии ферромагнитного резонанса в металлах и сплавах // Письма в ЖЭТФ. 1976. Т. 23. № 5. С. 280–283.
56. Sokolov O.B., Grebennikov V.I., Turov E.A. Resonance scattering of X-Rays in Metals // Phys. Stat. Sol (b). 1977. V. 83. № 2. P. 383–393.
57. Соколов О.Б., Гребенников О.И., Туров Е.А. Метод эффективного неэрмитового гамиль-тониана в теории рентгеновских процессов // ФММ. Т. 43. № 6. С. 1311–1313.
58. Вонсовский С.В., Туров Е.А. Металлические стекла и аморфный магнетизм // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1978. Т. 42. № 8. С. 1570–1580.
59. Финашкин В.К., Соколов О.Б., Туров Е.А. Электронная структура антиферромагнетика в магнитном поле // ФММ. 1978. Т. 451. № 4. С. 679–694.
60. Туров Е.А., Луговой А.А. Магнитоупругие колебания доменных границ в ферромагнетиках. I. Резонансные частоты // ФММ. 1980. Т. 50. № 4. С. 715–729.
61. Туров Е.А., Луговой А.А. Магнитоупругие колебания доменных границ в ферромагнетиках. Генерация и рассеяние звука // ФММ. 1980. Т. 50. № 5. С. 905–913.
62. Туров Е.А., Луговой А.А. Магнитоакустический резонанс доменных границ в антиферромагнетиках // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31. № 5. С. 308–311.
63. Turov E.A., Talutz G.G. Spontaneous symmetry breaking and magnon-phonon spectra / J. Magn. Magn. Mater. 1980. V. 15/18. Pt. 2. P. 582–584.
64. Гребенников В.И., Прокопьев Ю.И., Соколов О.Б., Туров Е.А. Метод локальных флуктуаций в теории магнетизма переходных металлов // ФММ. 1981. Т. 52. № 4. С. 679–694.
65. Туров Е.А., Луговой А.А. Магнитоупругие колебания доменной границы в антиферромагнетике // ФТТ. 1981. Т. 23. № 9. С. 2653–2663.
66. Туров Е.А., Луговой А.А. Магнитоакустический резонанс 90°-ных доменных границ в кубических антиферромагнетиках // ФТТ. 1982. Т. 24. № 4. С. 1145–1149.
67. Коган Е.М., Туров Е.А., Устинов В.В. Импеданс прохождения ферромагнитной металлической пленки // ФММ. 1982. Т. 53. № 2. С. 223–229.
68. Гребенников В.И., Прокопьев Ю.И., Соколов О.Б., Туров Е.А. Флуктуационная теория антиферромагнетиков с коллективизированными электронами // ФММ. 1982. Т. 54. № 5. С. 896–908.
69. Туров Е.А. Материальные уравнения электродинамики. М.: Наука 1983. 158 с.
70. Туров Е.А., Шавров В.Г. Нарушенная симметрия и магнитоакустические эффекты в ферро- и антиферромагнетиках // УФН. 1983. Т. 140. № 3. С. 429–462.
71. Kogan E.M., Ustinov V.V., Turov E.A. On the theory of spontaneous Hall effect in ferromagnetic film // J. Magn. Magn. Mater. V. 31–34. P. 961–962.
72. Туров Е.А., Луговой А.А. Осцилляции доменной границы, движущейся с постоянной скоростью во внешнем магнитном поле // ФММ. 1984. Т. 58. № 6. С. 1057–1068.
73. Туров Е.А., Боровик-Романов А.С., Рудашевский Е.Г., Туров Е.А., Шавров В.Г. Магнитоупругие эффекты спонтанно нарушенной симметрии и мягкие моды при магнитных фазовых переходах // УФН. 1984. Т. 143. № 4. С. 674–676.
74. Туров Е.А., Луговой А.А., Дякин В.В. Магнитоупругая динамика одноосного ферромагнетика с периодической доменной структурой. I. Дисперсионное уравнение // ФММ. 1985. Т. 60. № 6. С. 1124–1133.
75. Turov E.A., Lugovoi A.A. Domain walls dynamics in ferro- and antiferromagnets on account of magnetoelastic interaction // Acta Phys. Polonica. 1985. V. 86. № 1. P. 61–64.
76. Дикштейн И.Е., Туров Е.А., Шавров В.Г. Магнитоакустические явления и мягкие моды вблизи магнитных ориентационных фазовых переходов // В сб. Динамические и кинетические свойства магнетиков. Под ред. Вонсовского С.В., Турова Е.А. / М.: Наука. 1986. Гл. III. С. 68.
77. Луговой А.А., Туров Е.А. Магнитоупругая динамика одноосного ферромагнетика с периодической доменной структурой. II. Анализ дисперсионного уравнения // ФММ. 1986. Т. 61. № 4. С. 685–694.
78. Мирсаев И.Ф., Меньшенин В.В., Туров Е.А. Нелинейная магнитоупругая генерация поперечных звуковых волн в ферромагнетиках // ФТТ. 1986. Т. 28. № 8. С. 2428–2434.
79. Туров Е.А. Антиферромагнитные эффекты в акустике // ЖЭТФ. 1987. Т. 92. № 5. С. 1886–1893.
80. Мирсаев И.Ф., Меньшенин В.В., Туров Е.А. Генерация вторых продольных звуковых гармоник в одноосных ферромагнетиках в области магнитных фазовых переходов // ФТТ. 1987. Т. 29. № 8. С. 2429–2433.
81. Bar'yakhtar V.G., Turov E.A. Magnetoelastic excitations // In Spin waves and magnetic excitations // Ed. by Borovik-Romanov A.S., Sinha S.K. / Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo. Elsevir Science Publishers B.V., 1988. P. 333.
82. Туров Е.А., Луговой А.А. Магнитоупругое возбуждение неоднородных колебаний намагниченности в ферромагнетике однородным магнит-

ным полем // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. № 10. С. 358–367.

83. Туров Е.А., Луговой А.А., Бучельников В.Д., Кузавко Ю.А., Шавров В.Г., Ян О.В. Мягкие магнитно-звуковые волны в кубическом ферромагнетике в окрестности ориентационного перехода // ФММ. 1988. Т. 66. № 1. С. 12–23.

84. Куркин М.И., Туров Е.А. Ядерные спиновые возбуждения // Спиновые волны и магнитные возбуждения // Под ред. А.С. Боровика-Романова и С.К. Синха. Амстердам. 1988. Т. 2. Гл. 8. С. 381–441.

85. Туров Е.А. Акустический эффект Коттона–Мутона в антиферромагнетиках // ЖЭТФ. 1989. Т. 96. № 6. С. 2140–2148.

86. Богданова Х.Г., Голенищев-Кутузов В.А., Медведев Л.И., Куркин М.И., Туров Е.А. О слабых искажениях магнитной структуры бората железа // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. № 2. С. 613–620.

87. Гребенников В.И., Туров Е.А. Магнетизм и кинетика переходных металлов во флуктуационной теории коллективизированных электронов. Магнитные свойства кристаллических и аморфных сред. Новосибирск, 1989. С. 72–87.

88. Куркин М.И., Туров Е.А. ЯМР в магнитоупорядоченных веществах и его применения. М.: Наука. 1990. 240 с.

89. Туров Е.А. Кинетические, оптические и акустические свойства антиферромагнетиков. Свердловск: Издательство УрО РАН. 1990. 153 с.

90. Туров Е.А. Обменно-усиленное фотоупругое взаимодействие и брэгговская дифракция света на звуке // ЖЭТФ. 1990. Т. 98. № 2. С. 655–670.

91. Туров Е.А., Куркин М.И., Танкеев А.П., Райдугин Ю.Г. Нелинейные явления при ЯМР в магнитоупорядоченных веществах // Проблемы физической кинетики и физики твердого тела. Наукова Думка: Киев, 1990. С. 259–271.

92. Туров Е.А., Райдугин Ю.Г. La_2CuO_4 : Кинетика, оптика, акустика // Физика и техника высоких давлений. 1991. Т. 1. № 2. С. 24–33.

93. Туров Е.А. Акустика антиферромагнетиков // ФММ. 1991. Т. 81. № 1. С. 73–80.

94. Lugovoi A.A., Turou E.A. Joint antiferromagneto-acoustical resonances in thin films // J. Magn. Magn. Mater. 1991. V. 92. № 3. P. L291–L294.

95. Райдугин Ю.Г., Найш В.Е., Туров Е.А. Антиферромагнитная структура оксида меди // Письма в ЖЭТФ. 1991. Т. 54. № 11. С. 643–646.

96. Туров Е.А., Меньшенин В.В., Николаев В.В. Акустика магнитоэлектрических антиферромагнетиков. Тетрагональные кристаллы // ЖЭТФ. 1993. Т. 104. № 6. С. 4157–4170.

97. Туров Е.А. Акустика магнитоэлектрических антиферромагнетиков. Ромбоэдрические кристаллы // ЖЭТФ. 1993. Т. 104. № 5. С. 3886–3896.

98. Туров Е.А. Может ли сосуществовать в антиферромагнетиках магнитоэлектрический эффект со слабым ферромагнетизмом и пьезомагнетизмом // УФН. 1994. Т. 164. С. 325–332.

99. Меньшенин В.В., Туров Е.А. Упругий ангармонизм в магнитоэлектрических тетрагональных антиферромагнетиках // ЖЭТФ. 1995. Т. 108. № 6. С. 2061–2075.

100. Туров Е.А. О новых возможных эффектах в многослойных антиферромагнитных макроструктурах // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 62. № 11. С. 854–858.

101. Туров Е.А. Антиферромагнетизм: Особенности кинетических, оптических и акусто-оптических свойств // J. Magn. Magn. Mater. 1995. V. 140/144. Pt. 3. P. 1737–1740.

102. Туров Е.А. О магнитоэлектричестве и слабом ферромагнетизме в антиферромагнетике KNiPO_4 // ЖЭТФ. 1996. Т. 110. № 1. С. 202–217.

103. Мирсаев И.Ф., Туров Е.А. Эффективные модули упругости вблизи ФП антиферромагнетизм-ферромагнетизм // ФММ. 1996. Т. 81. № 4. С. 68–81.

104. Мирсаев И.Ф., Туров Е.А. Акустические свойства магнетиков вблизи фазового перехода антиферромагнетизм–ферромагнетизм // ФММ. 1996. Т. 82. № 1. С. 5–14.

105. Туров Е.А. Акустическая дифракция света, связанная с модуляцией его поляризации, в легкоплоскостном антиферромагнетике // Письма в ЖЭТФ. 1997. Т. 65. № 4. С. 317–321.

106. Туров Е.А. Особенности рассеяния света на звуке в легкоплоскостных антиферромагнетиках в режиме Рамана-Ната // ЖЭТФ. 1997. Т. 112. № 4. С. 1464–1475.

107. Меньшенин В.В., Туров Е.А. Прохождение поперечных упругих волн через ферромагнитный слой, разделяющий два упругих полупространства // ФММ. 1997. Т. 84. № 5. С. 32–41.

108. Туров Е.А., Колчанов А.К., Меньшенин В.В., Мирсаев И.Ф., Николаев В.В. Магнитодинамика антиферромагнетиков // УФН. 1998. Т. 168. № 12. С. 1303–1310.

109. Туров Е.А. Nd_2CuO_4 : Киральность и ее влияние на оптические и акустические свойства // ЖЭТФ. 1999. Т. 115. С. 1386–1392.

110. Памятных Е.А., Туров Е.А. Основы электродинамики материальных сред в переменных и неоднородных полях. М.: Наука. 2000. 240 с.

111. Лесковец В.В., Туров Е.А. Влияние электрического поля на спектр ЯМР в центросимметричных антиферромагнетиках // ФТТ. 2000. Т. 42. № 5. С. 879–883.

112. *Меньшенин В.В., Туров Е.А.* Антиферромагнитный фотогальванический эффект // Письма в ЖЭТФ. 2000. Т. 72. № 1. С. 23–27.
113. *Туров Е.А.* Нелинейный по электрическому току эффект Холла антиферромагнитной природы // ЖЭТФ. 2000. Т. 117. № 4. С. 790–796.
114. *Туров Е.А., Колчанов А.В., Меньшенин В.В., Мирсаев И.Ф., Николаев В.В.* Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2001. 560 с.
115. *Туров Е.А.* Чисто антиферромагнитная мода колебаний в двухподрешеточной ферромагнитной фазе // Письма в ЖЭТФ. 2002. Т. 73. С. 92–94.
116. *Menshenin V.V., Turov E.A.* A photogalvanic effect in centro-antisymmetric antiferro-magnets // Phys. of Met. and Metalogr. 2001. V. 92. Suppl. 1. P. S218–S221.
117. *Лесковец В.В., Куркин М.И., Николаев В.В., Туров Е.А.* Высокочастотные свойства KNiPO_4 в переменных магнитных и электрических полях // ФТТ. 2002. Т. 44. № 7. С. 1272–1276.
118. *Туров Е.А., Мирсаев И.Ф.* Чисто антиферромагнитные спиновые волны (антимэгноны) в тетрагональных ферромагнетиках и способы их возбуждения // ФНТ. 2002. Т. 28. № 8/9. С. 822–833.
119. *Туров Е.А., Мирсаев И.Ф., Николаев В.В.* Специфические эффекты акустического двупреломления в антиферромагнетиках // УФН. 2002. Т. 172. № 2. С. 193–212.
120. *Мирсаев И.Ф., Туров Е.А.* Антимэгноны в ферримагнетиках // ЖЭТФ. 2002. Т. 121. № 2. С. 419–430.
121. *Куркин М.И., Лесковец В.В., Николаев В.В., Туров Е.А., Туров Л.В.* Возбуждение ЯМР электрическим полем как динамическое проявление магнитоэлектрического и антиферроэлектрического взаимодействий // ФТТ. 2003. Т. 43. С. 653–657.
122. *Мирсаев И.Ф., Туров Е.А.* Динамические явления, связанные с магнитно- и антиферроэлектрическим взаимодействиями в трирутилах // ЖЭТФ. 2003. Т. 124. № 2. С. 338–350.
123. *Куркин М.И., Мирсаев И.Ф., Туров Е.А.* Возможности использования ядерного магнитного резонанса для изучения магнитоэлектрических эффектов в ферромагнетике Mn_2Sb // ЖЭТФ. 2004. Т. 125. № 5. С. 1144–1148.
124. *Туров Е.А., Николаев В.В.* Новые физические явления в магнетиках, связанные с магнитоэлектрическим и антиферроэлектрическим взаимодействиями // УФН. 2005. Т. 175. № 5. С. 457–473.
125. *Меньшенин В.В., Куркин М.И., Николаев В.В., Туров Е.А.* Взаимодействие магнонов с оптическими фононами в редкоземельных ортоферритах // Украинский физический журнал. 2005. Т. 50. № 8А. С. 24–28.
126. *Мирсаев И.Ф., Туров Е.А.* Электронный и ядерный магнитный резонансы, связанные с магнитоэлектрическим и антиферроэлектрическим взаимодействиями в обменно-неколинеарном (“квадратном”) киральном антиферромагнетике Nd_2CuO_4 и их поведение при киральных фазовых переходах // ЖЭТФ. 2005. Т. 127. № 6. С. 1244–1261.
127. *Туров Е.А., Куркин М.И., Меньшенин В.В., Николаев В.В.* Динамика коллинеарного двухпозиционного многоподрешеточного ферримагнетика в трехподрешеточной модели. Применение к железо-иттриевому гранату // ФММ. 2007. Т. 103. № 5. С. 473–479.
128. *Куркин М.И., Меньшенин В.В., Николаев В.В., Туров Е.А., Бакулина Н.Б.* Магнитоупругий механизм магнитоэлектрического взаимодействия // ФТТ. 2007. Т. 49. С. 1251–1254.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Baibich M.N., Broto J.M., Fert A., NguenVan Dau F., Petroff F., Eitenne P., Creuzet G., Friederich A., Charles J.* Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices // Phys. Rev. Leters. 61. № 21. P. 2472–2475.
2. *Jin S., VcCormack M., Tiefel T.H., Hleming R.M., Phillips J. et al.* Thousand change in resistivity La–Ca–Mn–O films // Science. 1994. V. 264. P. 413–415.
3. *Wang J., Neaton J.B., Zheng H., Nagarajan V., Ogale S.B., Liu B., Viehland D. et al.* Epitaxial BiFeO_3 multiferroic thin film heterostructures // Science. 2003. V. 299(5613). P. 1719–1722.
4. *Beaurepaire E., Merle J.-C., Daunois A., Bigot J.-Y.* Ultrafast spin dynamics in ferromagnetic nickel // Phys. Rev. Leters. 1996. V. 76. 4250–4253.
5. *Tudoso I., Stamm C., Kashuba A.B. et al.* The ultimate speed of magnetic switching in granular recording media // Nature. 2004. V. 428. P. 831–833.
6. *Stanciu D., Hansteen F., Kimel A.V., Kirilyuk A., Tsukamoto A., Itoh A., Rasing Th.* All optical magnetic recording with circularly polarized light // Phys. Rev. Leters. V. 99. P. 047601.
7. *Kurkin M.I., Orlova N.B.* Femtosecond magneto-optics and ultrafast magnetization reversed of ferromagnetic // JMMM / 2014. V. 361. P. 224–231.