

Национальная Академия Наук Украины
Институт радиофизики и электроники
им. А.Я. Усикова

Международный Юбилейный Семинар

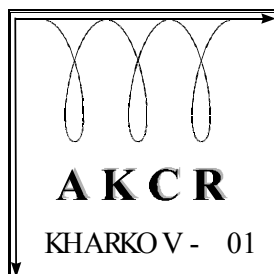
**“Современные проблемы
физики твердого тела”,**

**посвященный памяти члена-корреспондента
НАН Украины Эмануила Айзиковича Канера
и 45-летию открытия
циклотронного резонанса в металлах**

Срок проведения: 19 - 20 ноября 2001 г.

Место проведения: Харьковский Дом Ученых,
ул. Совнаркомовская 10.

Программа и тезисы докладов



Харьков 2001

ПРОГРАММА СЕМИНАРА

ПОНЕДЕЛЬНИК, 19 НОЯБРЯ

- 12-00.** Открытие семинара, вступительное слово. В.М. Яковенко (ИРЭ НАН Украины, Харьков).
- 12-20.** Эмануил Канер как часть моей жизни. Э.Г. Братута (Национальный технический университет «ХПИ»).
- 12-35.** Локализованные сверхпроводящие пары в разупорядоченном трехмерном материале. В.Ф. Гантмахер (ИФТТ РАН, Черноголовка).
- 13-05.** Unusual behavior of AC losses and magnetization in anisotropic hard superconductors. L.M. Fisher (All-Russian Electrical Engineering Institute, Moscow).
- 13-35.** Phase separation in $(\text{La-Pr})_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$: electrical and magnetic properties. I.F. Voloshin (All-Russian Electrical Engineering Institute, Moscow).

ПЕРЕРЫВ

- 15-30.** Конкуренция между экситонным и куперовским спариванием в 2D-системах в режиме квантового эффекта Холла. Э.А. Пашицкий (ИФ НАН Украины, Киев).
- 16-00.** Magnetostriction and domain structure in antiferromagnets. E.V. Gomonay (National Technical University of Ukraine "KPI", Kiev).
- 16-30.** Localization and mobility edge in random superlattices. A.A. Krokhin (Institute of Physics, Autonoma University of Puebla, Mexico).
- 17-00.** Temperature and frequency dependence of complex conductance of ultra-thin $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films: a study of vortex-antivortex pair unbinding. V.A. Gasparov (ISSP RAS, Chernogolovka).
- 17-30.** Кулоновское упорядочение в андерсоновских локализованных электронных системах. А.А. Слуцкий (ФТИНТ НАН Украины, Харьков).

ВТОРНИК, 20 НОЯБРЯ

- 10-00.** Аномальное проникновение электромагнитного поля и циклотронный резонанс в металлических пластинах с сильным транспортным током. В.А. Ямпольский (ИРЭ НАН Украины, Харьков).
- 10-30.** Симметрии и критические явления. В.Ф. Клепиков (Научно-технический центр электрофизической обработки НАН Украины, Харьков).

- 11-00.** Конверсия упругой волны в электромагнитное излучение на границе сверхпроводник второго рода-вакуум. В.Д. Филь (ФТИНТ НАН Украины, Харьков).
- 11-20.** Измерение электрического поля, сопровождающего в металле продольную звуковую волну. В.М. Гохфельд (Дон ФТИ НАН Украины, Донецк).
- 11-40.** Каноническое распределение в неэкстенсивной обобщенной термодинамике. О.В. Усатенко (ИРЭ НАН Украины, Харьков).

ПЕРЕРЫВ

- 12-30.** Локализация электронных состояний на двойниковых и антифазных границах. Э.П. Фельдман (Дон ФТИ НАН Украины, Донецк).
- 13-00.** Влияние ориентационной релаксации молекул на термодинамические свойства низкотемпературной фазы фуллерита C₆₀. В.Д. Нацик (ФТИНТ НАН Украины, Харьков).
- 13-30.** Дробные и расщепленные краудионы в сложных кристаллических структурах. С.Н. Смирнов (ФТИНТ НАН Украины, Харьков).
- 14-00.** Динамика магнитных вихрей. Между вихрями и солитонами. А.С. Ковалев (ФТИНТ НАН Украины, Харьков).

ПЕРЕРЫВ

- 16-00.** Эффект тренировки в сверхпроводнике 2H₁NbSe₂. М.А. Оболенский (ХНУ, Харьков).
- 16-30.** Catastrophic dynamics of vortex matter in type-II superconductors. V.V. Chabanenko (Physical&Technical Institute, NAS, Donetsk).
- 17-00.** Magnon-assisted Andreev reflection and subgap transport in ferromagnet-superconductor junctions. G.B. Tkachev (IRE NANU, Kharkov).
- 17-30.** Проблемы слабой локализации в ограниченных неупорядоченных системах: кондактанс двумерных мезоскопических проводников. Ю.В. Тарасов (ИРЭ НАН Украины, Харьков).
- 18-00.** Заккрытие семинара.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Локализованные сверхпроводящие пары в разупорядоченном трехмерном материале

В.Ф. Гантмахер

ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия

Проведен анализ экспериментальных данных в аморфном InO , который подтверждает, что при разрушении сверхпроводимости полем может образоваться изолятор с локализованными парами, которые, в свою очередь, разрушаются лишь в существенно более сильных магнитных полях. Обсуждается модель такого изолятора с парными электронными корреляциями вблизи ферми-уровня.

Temperature and frequency dependence of complex conductance of ultrathin $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films: a study of vortex-antivortex pair unbinding.

V.A. Gasparov*, Oi Li**

* - Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka , Russia.

** - Pennsylvania State University, USA

According to Kosterlitz-Thouless-Berezinskii (KTB) theory extended to high frequencies the electromagnetic response of a 2D superconductor is dominated by those vortex-antivortex bound pairs that have vortex separation length equal to the vortex diffusion length. This implies that it is possible to detect the response of those pairs at high frequencies in the samples even though the usual KTB transition is not present as shown in DC and low frequency measurements.

We have studied the temperature and the frequency dependencies of the complex sheet conductance, $\sigma(\omega, T)$, of 1-3 unit cell (UC) thick $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films sandwiched between semiconducting $\text{Pr}_{0.6}\text{Y}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ layers. Experiments have been carried out in a frequency range between: 2-30 MHz with one-spiral coil technique and in 100 MHz-1 GHz frequency range with a new technique using the cavity formed with a spiral coil.

We have found the linear temperature dependence of the kinetic inductance, $L_k^{-1}(T)$, at low temperatures independent of frequency, with a break in slope at $T_{\text{KTB}}^{\text{dc}}$, the maximum of real part of conductance, $\sigma_1(T)$, and a large shift of the maximum position to higher temperatures with increasing frequencies ω . We obtain the universal ratio $T_{\text{KTB}}^{\text{dc}} / L_k^{-1}(T_{\text{KTB}}) = 13.5, 14, \text{ and } 14.5 \text{ nHK}$ for 1-, 2- and 3UC films, respectively in close agreement with theoretical prediction for vortex-antivortex unbinding transition, 12 nHK. The activated temperature dependence of the vortex diffusion constant was observed and discussed in framework of vortex-antivortex unbinding transition.

- [1] V.A. Gasparov, I.E. Batov, Qi Li and C. Kwon, Phys.of Low-Dim.Str., **6**, n.12 (1995) 361.
- [2] V.A. Gasparov, I.E. Batov, Qi Li and C. Kwon, Czechoslovak Journal of Physics, **46**, Suppl.S3 (1996) 1401.
- [3] V.A. Gasparov, I.E. Batov, C. Kwon, and Qi Li, Physica B, **284-288** (2000) 1021-1022.

Измерение электрического поля, сопровождающего в металле продольную звуковую волну.

В.Д.Филь*, В.М. Гохфельд**

* - ФТИНТ НАНУ, Харьков, Украина

** - ДонФТИ НАН Украины, Донецк, Украина

Обсуждён вопрос об измерении электрического поля, сопровождающего продольную звуковую волну, нормально падающую на границу металла. В общем случае упруго несвободной границы должны наблюдаться два вклада, один из которых имеет стандартный для безграничного образца вид, а другой связан со скачком электронной функции распределения на границе (задача решена в простейшем случае зеркальной границы). На свободной границе выживает только вторая компонента. Для экспериментального разделения двух вкладов важно, что их фазы сдвинуты относительно друг друга примерно на 90° . Проведено сравнение с экспериментом. При сверхпроводящем переходе поле, регистрируемое как с помощью гальванического контакта, так и бесконтактным способом, исчезает на интервале $\Delta T/T_c \sim 10^{-3}$ – факт, в настоящее время не находящий у авторов объяснения.

Catastrophic Dynamics of Vortex Matter in Type-II Superconductor

V.V. Chabanenko

Physical&Technical Institute, NAS, Donetsk, Ukraine

Magnetothermal instabilities (flux jumps) and critical current degradation have been observed essentially in all superconductors (LTSC and HTSC) with high values of the critical current [1]. Although the flux jumps last only a fraction of a millisecond, they may have catastrophic influence on the material [2]. With the aid of the Hall probe, we have monitored convergent periodic oscillations of the magnetic flux induction at the surface of the Nb-Ti plate as a result of the huge avalanche. We regard this phenomenon as displaying the inertial property of the vortex matter [3]. Some new experimental results related to this phenomena are considered.

The Polish Government Agency KBN under contracts No.8 T11B 038 17 supported this work.

1. S.L.Wipf, Cryogenics **31** (1991) 936.
2. Y. Ren, R.Weinstein, J. Liu, et.al. Physica C, **251** (1995) 16.
3. V. Chabanenko, V. Rusakov, V. Yampol'skii, S. Piechota, A. Nabialek, S. Vasiliev, H. Szymczak, arXiv: cond-mat/0106379 19 Jun 2001.

Локализация электронных состояний на двойниковых и антифазных границах

Э.П. Фельдман*, В.В. Юрченко*, А.А. Крохин**

* - ДонФТИ НАН Украины, Донецк, Украина

** - Институт физики, Автономный университет Пуэбло, Мексика

Многие твердотельные агрегаты содержат специфические границы, разделяющие домены, тождественные по своим свойствам и отличающиеся либо ориентацией структурных элементов, либо распределением атомов по идентичным подрешеткам. Примером могут служить механические или структурные двойники; в полупроводниках типа GaAs речь идет об антифазных границах.

В пределах каждого из доменов, составляющих двойник, электрон движется в периодическом поле, на границе эта периодичность нарушается. Специфика двойниковой границы состоит в том, что потенциальную энергию электрона принципиально невозможно представить в виде суммы потенциала, периодичного во всем образце плюс добавка, локализованная вблизи границы, поскольку в целом двойниковая граница неперiodична. Можно сказать, что на такой границе происходит скачок фазы потенциала.

Задача об определении электронного спектра такой структуры идейно близка к известной проблеме таммовских поверхностных состояний. Как известно, Тамм установил, что вблизи внешней поверхности твердого тела при известных условиях может происходить локализация электронных состояний. Электроны запираются, с одной стороны, поверхностным барьером, а с другой – периодической решеткой.

В случае двойниковой границы, как нами было установлено с использованием модели синусоидального потенциала (уравнение Матье) происходит запираание электрона с двух сторон периодическим потенциалом.

В запрещенных зонах идеального кристалла появляются уровни, соответствующие локализованным на двойниковой или антифазной границе состояниям. Сами состояния могут быть как симметричными, так и антисимметричными.

ми. Вычислены энергии и радиусы локализации этих состояний в зависимости от амплитуды потенциала, номера зоны, и, что наиболее интересно, от величины скачка фазы потенциала. Показано, что во всех «бывших» запрещенных зонах, как правило, имеется один уровень. Однако, при некоторых значениях скачка фазы, в данной зоне может либо быть два уровня («симметричный» и «антисимметричный») либо уровни могут отсутствовать вовсе. Возможность одновременного существования двух уровней в одной запрещенной зоне принципиально отличает наш результат, как от результатов Тамма, так и от результатов, получающихся моделированием границы как локального возмущения в схеме И.Лифшица.

Задача допускает обобщение на двухмерный и трехмерный случаи, причем возможность такого обобщения представляется более обоснованной, чем в задаче Тамма, поскольку в нашем случае по обе стороны от границы находятся кристаллы с эквивалентными структурами.

Появившиеся в последнее время экспериментальные исследования (например, с использованием АФ-микроскопов) распределения электронной плотности вблизи двойниковых и антифазных границ дают определенные признаки реальности существования локализованных «антифазных» состояний.

Конверсия упругой волны в электромагнитное излучение на границе сверхпроводник II – рода – вакуум.

В.Д.Филь

ФТИНТ НАНУ, Харьков, Украина

Получены формулы, описывающие в локальном пределе конверсию упругой волны в электромагнитное поле на границе сверхпроводник II-рода- вакуум, допускающие предельный переход как к нормальному, так и Мейснеровскому состояниям. Обсуждена стратегия эксперимента, позволяющая измерить динамические параметры вихревой решётки. Обращено внимание на перспективность исследования инерционной (Стюарт-Толменовской) компоненты излучаемого поля Проведено сравнение с экспериментом, выполненном на Nb, MgB_2 и ZrTiCuNiBe аморфном сплаве.

Unusual behavior of AC losses and magnetization in anisotropic hard superconductors

L.M. Fisher*, A.V. Kalinov^{*}, I.F. Voloshin^{*}, V.A. Yampol'skii^{**}

^{*} - All-Russian Electrical Engineering Institute, Moscow, Russia

^{**} - IRE NANU, Kharkov, Ukraine

The amplitude dependence of the relative ac losses q and the dc magnetization M of anisotropic superconducting plate-like samples has been studied experimentally and theoretically. We investigated the single domain textured crystals of the Y-123 system with the c axis laying in the sample plane and a single crystal with the preferable orientation of twins in the sample plane. Contrary to the isotropic case where there exists one maximum in the dependence of $q=\chi''$ on the amplitude h_0 of the ac magnetic field, two maxima in the dependence $q(h_0)$ were observed. Both maxima are found to be related to the penetration of the ac field up to the middle of a sample. This size effect occurs if the direction of the ac magnetic field differs significantly from the principal axes of symmetry. Such an unusual manifestation of the size effect can be understood under the assumption that two components of the ac field along the principal axes of symmetry are independently shielded by the two principal components of the anisotropic critical current density. The sequential penetration of two different components of the magnetic induction to the middle of the sample leads to the appearance of additional extrema in the dc magnetization curves of superconducting textured plates with a strong in-plane anisotropy. This unusual phenomenon was also studied experimentally and theoretically. For definite orientation of the external magnetic field with respect to the crystallographic axes, the virgin magnetization curves are shown to have additional minima which are similar to the well known peak effect. This means that the anisotropy of the critical current capability can be a reason of the new type of the peak effect. The obtained results are interpreted within the framework of the critical state model generalized to the anisotropic case.

Аналитически и численно рассмотрена динамика вихревых пар в двумерном легко-плоскостном ферромагнетике. Исследовано взаимодействие двух таких пар (вихрь-антивихрь) в частном случае, когда их полный угловой момент равен нулю (столкновение пар, движущихся вдоль одной линии). Аналитическое рассмотрение проведено в рамках метода коллективных переменных (анзаца Тиле), в котором задача о взаимодействии четырех вихрей является полностью интегрируемой. Результаты сравниваются с данными численных симуляций уравнений Ландау-Лифшица для двумерной классической Гайзенберговской модели. Показано, что при встречном столкновении вихревых пар возможны разные сценарии рассеяния: обмен «партнеров» из разных пар и рассеяние вновь образованных пар под определенным углом к направлению начального движения, прохождение пар друг через друга с временным обменом партнерами и прохождение пар без потери своей индивидуальности. В последнем случае взаимодействие пар напоминает взаимодействие солитонов в одномерных интегрируемых системах, и вихревые пары играют роль двумерных однопараметрических солитонов. При выходе за рамки приближения Тиле и учете первых поправок по скорости движения пар полученная аналитическая зависимость угла рассеяния пар от относительной скорости их движения хорошо согласуется с численными данными практически во всей области скоростей, при которых вихревые пары сохраняются в процессе столкновения. При движении пар в одном направлении они проходят друг через друга как одномерные солитоны при любом соотношении скоростей. Аналитически вычислены соответствующие сдвиги фаз движения. Частным случаем такого движения является образование вихревого квадруполь. Такое возбуждение характеризуется двумя динамическими параметрами: средней скоростью перемещения как целого и внутренней частотой (частотой вращения двух пар вихрь-вихрь и антивихрь-антивихрь, образующих квадруполь). Таким образом, рассмотренный вихревой квадруполь обладает свойствами двумерного динамического солитона огибающей. В мало-амплитудном пределе аналитически рассмотрены двумерные солитоны огибающей, близкие к слабо-локализованным спиновым волнам, и указано на их внутреннюю вихревую структуру.

Localization and mobility edge in random superlattices

A.A. Krokhin

Institute of Physics, Autonoma University of Puebla,

It is commonly believed that there is no mobility edge in 1D random white-noise potential. I will show that this not the case if the potential is correlated with a binary correlator decaying in a power law. Two discrete models will be presented: Anderson model with diagonal disorder and a random superlattice (Kronig-Penney model). Both exhibit the mobility edges in the energy eigenspectrum if the potential possesses an appropriately correlated disorder. I will give the experimental evidence of the existence of the mobility edges in the transmission micro-wave spectrum of a single-mode waveguide with inserted scatterers. For energies or frequencies between the mobility edges, the disordered system is transparent, while it is not outside this interval. I propose to exploit this property for filtering of electrical and optical signals.

Magnetostriction and domain structure in antiferromagnets

E.V. Gomonay and V.M.Loktev

National Technical University of Ukraine "KPI", Kiev, Ukraine

The problem of the observable equilibrium domain structure in the compensated collinear antiferromagnets is investigated with the use of continuous elasticity theory. It is shown that difference between the bulk and surface magnetoelastic strains causes the imaginary “incompatibility elastic charges” analogous to the surface “magnetic” charges in ferromagnets. Corresponding long-range field is shown to contribute into the “stray” energy of the sample that governs an appearance of the domain structure, the contribution from the “elastic charges” being proportional to the sample volume. Competition between the elastic “stray” field that favours inhomogeneous strain distribution, and external field that tends to homogenate the sample, provides the reversible reconstruction of the domain structure under the action of external magnetic field.

Влияние ориентационной релаксации молекул на термодинамические свойства низкотемпературной фазы фуллерита C₆₀

В.Д. Нацик, А.В. Подольский

ФТИНТ НАНУ, Харьков, Украина

Проведен теоретический анализ термодинамических характеристик низкотемпературной фазы фуллерита C₆₀, основанный на представлениях о двухъямных ориентационных состояниях молекул – пентагонной (p) и гексагонной (h) конфигурациях. Выведены соотношения, связывающие структурные и термодинамические характеристики фуллерита, доступные экспериментальным измерениям, с микроскопическими параметрами модели двухъямных состояний. Выделены и детально проанализированы составляющие теплоемкости и теплового расширения низкотемпературной фазы фуллерита C₆₀, обусловленные тепловым возбуждением двухъямных ориентационных состояний молекул. Для описания деформационной добавки к разности энергий p- и h-конфигураций введен параметр g_{or} , эквивалентный параметру Грюнайзена в теории теплового возбуждения гармонических колебаний кристалла. Показано, что ориентационные составляющие теплоемкости и теплового расширения фуллерита пропорциональны немонотонной функции температуры, а явление ориентационного стеклования "заостряет" эту немонотонность и приводит к резкому (скачкообразному) изменению тепловых свойств вблизи температуры стеклования $T_g \approx 90$ К. Этот вывод качественно объясняет аномалии теплоемкости, теплового расширения и общего термодинамического параметра Грюнайзена фуллерита в окрестности температуры T_g , зарегистрированные в экспериментах.

Дробные и расщепленные краудионы в сложных кристаллических структурах

В.Д. Нацик*, С.Н. Смирнов*, Е.И. Назаренко**

* - ФТИНТ НАНУ, Харьков, Украина

** - ХНУ, Харьков, Украина

Проанализированы условия существования и особенности динамики краудионных возбуждений в кристаллах со сложной структурой кристаллического поля, формирующего краудионы в плотноупакованных атомных рядах. Кристаллическая матрица предполагается абсолютно жесткой, поэтому описание краудионов сводится к анализу обобщенной модели Френкеля-Конторовой и соответствующего ей нелинейного дифференциального уравнения Клейна-Гордона. В рамках этой модели изучены случаи так называемых двухъямного и двухбарьерного потенциалов кристаллического поля: описаны структура субкраудионов с дробными топологическими зарядами, расщепленных полных краудионов, а также асимптотический распад расщепленных краудионов на субкраудионы при трансформации двухбарьерного потенциала в двухямный. Отдельно обсуждены условия существования специальных типов субкраудионов, связанные с атомной вязкостью кристалла и приложенной к нему внешней силой. Проведенный качественный анализ не предполагает точного решения в явном виде нелинейного уравнения Клейна-Гордона. Результаты этого анализа обобщают выводы, полученные ранее при изучении некоторых частных случаев точно решаемых уравнений Клейна-Гордона со сложными потенциалами (см. обзор [1]). Результаты работы могут быть использованы не только в физике краудионов, но и в других разделах нелинейной физики, базирующихся на модели Френкеля-Конторовой

1. Braun O. M., Kivshar Yu. S. The generalized Frenkel-Kontorova model // Phys. Reports v. 306, 1-199 (1998).

М.А. Оболенский

Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина

Для образцов NbSe_2H_x , подвергнутых периодическому термоциклированию от комнатных до гелиевых температур в течение 6 месяцев, наблюдались значительные изменения физических характеристик в нормальном и сверхпроводящем состоянии. В области температур 250-260 К на температурной зависимости электросопротивления появился скачок с температурным гистерезисом.

На вольт-амперных характеристиках в нормальном состоянии также наблюдался скачок в области напряженности электрического поля $E \sim 10^5$ В/см, имеющих гистерезисный характер.

Форма сверхпроводящего перехода также резко отличается от наблюдаемых для свежеинтеркалированных образцов. Сверхпроводящий переход становится неполным: после падения сопротивления при $T=6.8$ К ниже по температуре наблюдаются длинные резистивные “хвосты”, соответствующие пересечению токовыми линиями областей нормальной фазы ($j \perp C$).

Для второго критического магнитного поля $H_{c2}^{\parallel}(j \perp H)$ обнаружено увеличение его значения в процессе циклического перевода образца из сверхпроводящего состояния в нормальное внешним магнитным полем. Запись вольт-полевых характеристик (ВПХ) осуществлялась при фиксированных значениях температуры и транспортного тока через образец. Это явление мы назвали “эффектом тренировки”. Эффект наблюдается при достижении плотностей транспортного тока $j > 10$ А/см². После нескольких циклов перевода образца из $S \rightarrow N$ состояние $H_{c2}^{\parallel}$ значительно повышается, а температура сверхпроводящего перехода, определенная из зависимости $H_{c2}(T)$, превышает T_C , определенную

из резистивных переходов до обработки магнитным полем. Предельное увеличение T_C достигало 8.4 К, что до сих пор не удавалось получить никакими воздействиями гидростатических давлений и другими внешними воздействиями.

Снятые после "тренировки" $\rho(T)$ существенным образом отличались от исходных. Температура проявления особенности, связанной с волной зарядовой плотности (ВЗП), на электросопротивлении не сдвигалась, но форма ее соответствует той, которую наблюдали на образцах NbSe_2 высокой чистоты с соотношением $\rho_{300\text{ К}}/\rho_{\text{ОСТ}} \sim 150\text{-}200$. Кроме того, на отогривных зависимостях $\rho(T)$ наблюдались пики типа релаксационных.

Попытка измерить критические токи в таких образцах оказалась безуспешной, поскольку при постоянной температуре для каждой последующей ВАХ критический ток был больше предыдущего, то есть наблюдался также эффект "тренировки". Рассматриваются физические модели для объяснения этого эффекта.

**Проблема слабой локализации в неупорядоченных системах:
статический кондактанс двумерных мезоскопических проводников**

Ю.В. Тарасов

ИРЭ НАН Украины, Харьков, Украина

Концепция пространственной локализации электронных состояний в неупорядоченных проводниках, сформулированная Андерсоном в 1958 году, привлекает к себе повышенное внимание в связи с интенсивными исследованиями мезоскопических проводящих систем. В частности, неожиданными оказались полученные в последние годы многочисленные экспериментальные данные (см. ссылки в [1]), свидетельствующие о существовании края подвижности в двумерных (2D) проводниках. Наблюдение перехода металл-изолятор противоречит устоявшейся точке зрения [2] о локализации всех электронных состояний в 2D системах при $T = 0$, которая должна иметь место при любом уровне беспорядка.

В работе [3] предложен новый метод расчета динамических характеристик 2D статически неупорядоченных проводников, основанный на модовом представлении одночастичных электронных функций Грина. Надлежащий выбор базисных функций модового представления, учитывающий условия отражения на боковых границах проводника, позволяет свести изначально двумерную динамическую задачу к системе задач для модовых пропагаторов открытой строго одномерной системы, независимо от геометрии проводника и уровня его разупорядочения. В случае, если изначально рассматриваемый 2D проводник является одномодовым, т.е. его ширина D ограничена в пределах $\pi/k_F < D < 2\pi/k_F$ (k_F – фермиевский импульс), эффективный гамильтониан распространяющейся моды является эрмитовым. В соответствии с теорией 1D неупорядоченных систем, отсюда следует, что все электронные состояния исходной 2D системы локализованы в направлении тока при любом уровне беспорядка.

Если в проводнике имеется более одной распространяющейся моды ($N_c = k_F D / \pi \geq 2$), межмодовое рассеяние на статическом потенциале примесей приводит к тому, что эффективный гамильтониан каждой моды становится существенно неэрмитовым. Благодаря различию модовых (продольных) энергий неэрмитовость модовых гамильтонианов можно трактовать как результат дефазировки квантовых состояний за счет “неупругого” межмодового рассеяния. Для всех модовых состояний, определяющих кондактанс, длины дефазировки совпадают по порядку величины с классической длиной свободного пробега электронов ℓ , связанной с упругим рассеянием на примесях.

В рамках развитого подхода рассчитан кондактанс Кубо при $T = 0$ проводящей полосы произвольных размеров. Экспоненциальное уменьшение кондактанса с длиной L , свидетельствующее об андерсоновской локализации электронных состояний, имеет место только в случае одномодовых проводни-

ков. Для неодномодовых проводников эта зависимость близка к степенной, и в случае $N_c \gg 1$ асимптотики среднего безразмерного кондактанса $g(\mathbf{L})$ имеют вид

$$\langle g(\mathbf{L}) \rangle \approx \begin{cases} N_c & \text{при } \mathbf{L} < \ell, & \text{(I)} \\ (\pi/2)N_c\ell/\mathbf{L} \gg 1 & \text{при } \ell \ll \mathbf{L} \ll N_c\ell, & \text{(II)} \\ \pi N_c\ell/\mathbf{L} \ll 1 & \text{при } N_c\ell \ll \mathbf{L}. & \text{(III)} \end{cases}$$

В области (I) транспорт электронов является баллистическим, кондактанс не зависит от $\mathbf{L}$ и является ступенчатой функцией ширины проводника D и электронной энергии k_F^2 . В областях (II) и (III), называемых обычно “диффузионной” (или областью слабой локализации) и “локализационной”, ступенчатый характер кондактанса сглаживается. Обе эти области являются диффузионными в классическом смысле ($\ell \ll \mathbf{L}$), и ожидаемого проявления андерсоновской локализации электронных состояний при $\mathbf{L} > N_c\ell$ не возникает. Кондактанс в этой области является “омовским”, но с коэффициентом диффузии вдвое превышающим “классическое” значение.

-
- [1] E. Abrahams, S. V. Kravchenko, M. P. Sarachik, *Rev. Mod. Phys.* **73**, 251 (2001).
[2] E. Abrahams, P. W. Anderson, D. C. Licciardello, and T. V. Ramakrishnan, *Phys. Rev.* **42**, 673 (1979).
[3] Yu. V. Tarasov, *Waves Random Media* **10**, 395 (2000).

Magnon-assisted Andreev reflection and subgap transport in ferromagnet-superconductor junctions

G.B. Tkachev

IRE NANU, Kharkov, Ukraine

Electron-magnon interactions at a ferromagnetic metal - superconductor interface are shown to lead to a new process of magnon-assisted Andreev reflection, which consists of the simultaneous injection of a Cooper pair from the superconductor and the emission of a magnon inside the ferromagnet. At low temperature this process represents an additional channel for subgap transport across an FS interface, which lifts restrictions on the current I resulting from the necessity to match spin-polarized current in the ferromagnet with spinless current in the superconductor. We calculate I using the tunneling Hamiltonian method and the nonequilibrium (Keldysh) Green functions technique generalized for describing contacts with ferromagnetic electrodes. It is shown that for a junction between a superconductor and a ferromagnet with an arbitrary degree of polarization, the inelastic magnon-assisted Andreev reflection process would manifest itself as a nonlinear addition to the $I(V)$ characteristics which is asymmetric with respect to the sign of the bias voltage and is related to the local density of states of magnons at the interface. Expressions for the subgap $I(V)$ characteristics are given for arbitrary interfacial quality whilst the limiting cases of uniformly transparent and disordered interfaces are discussed in detail.

Каноническое распределение в неэкстенсивной обобщенной термодинамике.

О.В. Усатенко

ИРЭ НАН Украины, Харьков, Украина

В связи с активно обсуждающимися в последнее время неэкстенсивными термодинамическими системами с дальним взаимодействием частиц, то есть системами, не обладающими свойством аддитивности термодинамических потенциалов, проводится критический анализ вывода распределения Больцмана-Гиббса. Особо подчеркивается роль термостата в формировании функции распределения системы. Не делая обычного предположения об экспоненциальном росте числа состояний термостата, а ограничиваясь лишь предположением о слабости взаимодействия системы и термостата, приводится вывод функции распределения канонического ансамбля. Оказывается, что в общем случае функция распределения системы зависит от энергии термостата, а при степенном росте числа состояний термостата - от отношения энергий системы и термостата, и только лишь при экспоненциальном - не зависит от энергии термостата. Показывается также, что вид функции распределения системы связан только лишь с зависимостью числа состояний термостата от энергии и не зависит от свойств самой системы. Таким образом, оказывается, что при степенной зависимости числа состояний термостата от энергии, функция распределения оказывается подобной Тсалисовской [1-3], при экспоненциальной - Гиббсовской, а в остальных случаях отличается от вышеназванных.

Рассматривается ряд примеров систем, к которым может быть приложима обобщенная термодинамика. В частности проводится аналогия между одномерными изинговскими цепочками с дальним, степенным образом убывающим взаимодействием частиц, $E_{ij} \propto |i-j|^{-\alpha}$, $0 < \alpha < 1$, и текстами естественных языков, обладающих дальними корреляциями.

1. C. Tsallis, J. Stat. Phys. **52**, 479 (1988).
2. Nonextensive Statistical Mechanics and Its Applications, eds. S. Abe and Yu. Okamoto, Springer, 2001.
3. <http://tsallis.cat.cbpf.br/biblio.htm>.

Phase separation in $(\text{La-Pr})_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$: electrical and magnetic properties

N.A. Babushkina, L.M. Fisher, A.V. Kalinov, D.I. Khomskii, K.I. Kugel',
S.E. Savel'ev, and I.F. Voloshin

All-Russian Electrical Engineering Institute, Moscow, Russia

The effect of a magnetic field H on the electrical resistivity ρ and magnetization M of polycrystal manganites $(\text{La}_{0.25}\text{Pr}_{0.75})_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ and $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.25, 0.3$) with ^{16}O or about 85% ^{18}O isotopes was studied at $H \leq 6$ T and $4 \leq T \leq 300$ K. The former composition known to be extremely sensitive to various influences is a shining representative of manganites characterized by a strong interaction of the electron, lattice, and spin subsystems resulting in metal-insulator and structural transitions as well as various types of magnetic, orbital, and charge ordering. Being a typical ferromagnetic metal at $T < T_c$ it undergoes the metal-insulator transition (CMR) even for a partial $^{16}\text{O} \rightarrow ^{18}\text{O}$ isotope substitution. Meanwhile, the Pr-rich compositions in the close vicinity of $x=0.3$ possess unusual features: they are insulators even in ferromagnetic state at $x < 0.3$ and characterized as the stable charge ordered antiferromagnetic insulator at $x > 0.3$.

Our detailed study of the isotherms $M(H)$ and $\rho(H)$ of the LaPr samples and Pr samples with $x=0.3$ reveals that independently of the isotope composition there are three temperature intervals with different topology of the experimental curves. In two intervals $T_1 < T < T_2$ and $T_2 < T$ ($T_2 \sim T_c$) the curves $M(H)$ and $\rho(H)$ have hysteresis loops shifted with respect to the origin of coordinates. The hysteresis changes of $\rho(H)$ reflect a "reversible" "metal-insulator-metal" transition. Besides, a pronounced relaxation of characteristics are observed at some parts of loop. At $T < T_2$ the shifted hysteresis of steady-state isotherms $M(H)$, $\rho(H)$ disappears. The samples with pure Pr composition and $x=0.25$ show qualitatively different behavior of $M(H)$, $\rho(H)$. The temperature dependence of resistivity in them has a semi-conducting features, but an activation energy drops at temperatures lower than $T \sim T_c$. The main effects observed are interpreted within the framework of a model that takes into account the coexistence of regions of a ferromagnetic metal and an antiferromagnetic insulator and their evolution in an external magnetic field.

**Аномальное проникновение электромагнитного поля и
циклотронный резонанс в металлических пластинах
с сильным транспортным током.**

С.А. Деревянко, Г.Б. Ткачев и В.А. Ямпольский

ИРЭ НАН Украины, Харьков, Украина

Исследовано нелинейное взаимодействие электромагнитной волны и транспортного тока, протекающего в тонкой металлической пластине. Рассматривается случай тонких пластин и предельно аномального скин-эффекта, когда глубина проникновения сигнала δ много меньше толщины образца d . Известно, что собственное магнитное поле транспортного тока распределено антисимметрично по толщине образца: в середине пластины оно равно нулю, а на противоположных гранях принимает равные по величине и противоположные по знаку значения. Знакопеременное магнитное поле тока захватывает часть электронов в потенциальную яму. Траектории захваченных частиц представляют собой почти плоские осциллирующие кривые, выходящие вокруг плоскости перемены знака магнитного поля.

Часть захваченных электронов, а именно те, которые при своем движении залетают в скин-слой, способны переносить радиочастотное поле волны к противоположной грани образца и воспроизводить его там. Иными словами, имеет место эффект *аномального проникновения* электромагнитной волны в металл за счет траекторного переноса радиочастотного поля захваченными электронами. Физически эффект аналогичен переносу радиочастотного поля в глубь металла по цепочке циклотронных траекторий в однородном магнитном поле. Анализ оператора проводимости захваченных электронов показывает, что в режиме сильных токов электрическое поле распределено антисимметрично по толщине образца. Это означает, что вынос поля происходит *без ослабления*. Следует отметить, что при этом поверхностный импеданс пластины во всем диапазоне изменения тока меняется на величину порядка самого себя.

В высокочастотном пределе, когда частота волны намного превышает частоту электронных столкновений с объемными рассеивателями, захваченные электроны обеспечивают эффект, аналогичный циклотронному резонансу Азбеля-Канера. Резонанс имеет место в случае, когда временной период движения захваченных частиц кратен периоду волны.

Coulomb Ordering in Anderson-Localized Electron Systems.

A.A. Slutskin*, M. Pepper**, and H.A. Kovtun*

* - ФТИИТ НАНУ, Харьков, Украина

** - Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK

Long ago Wigner showed that a gas of free electrons interacting with each other by long-range Coulomb forces is bound to turn into an electron crystal (Wigner crystal) at sufficiently low electron densities, n_e . In the wake of the Wigner's prediction a question was raised whether electron crystals exist in conductors. However, up till now there is not a strong evidence of "electron crystal in crystal" existence, and seeking for materials wherein ordered electron structures are realized is still of great interest. It is generally believed that disorder prevents electron crystallization, so that the more is the disorder the less are chances for an electron crystal coming to existence. Contrary to this standpoint, we have shown that at zero temperature and at sufficiently low n_e mutual Coulomb repulsion of the electrons undergoing strong Anderson localization inevitably gives rise to ordering of the whole electron system (with the dimension $d > 1$) into a Wigner-crystal-like structure. This novel macroscopical electron state can be named Coulomb-ordered Anderson-localized electron system (COALES). We use the term "strong localization" in the sense that *i*) the mean separation between the potential wells at which an electron can be localized, $r_0 \approx n_0^{-1/d}$ (n_0 is the density of the wells), is $\geq$ the localization radius, *ii*) the width of the random scattering of the electron levels of the wells, Δ , is much more than both the overlap integral for electron hopping between wells, t , and the mean Coulomb energy of the interelectron repulsion $\mathcal{E}_{ee} \approx e^2 \kappa r_{ee}$ (e is the electron charge, $r_{ee} \approx n_e^{-1/d}$ is the mean interelectron distance, κ is the permittivity).

At first glance, it seems to be impossible that an electron ordering can arise under conditions $\Delta \gg \mathcal{E}_{ee}$. Nonetheless, the ordering does take place due to the fact that $\mathcal{E}_{ee}$ becomes much more than the Fermi energy $\mathcal{E}_F \approx (n_e/n_0)\Delta$ of Fermi glass (a system of the non-interacting Anderson-localized electrons) when n_e goes to zero. Proceeding from this point, we have shown that at sufficiently low n_e the ground-state arrangement of the Anderson-localized electrons is such that they occupy only wells whose typical distance from the Wigner-crystal sites, ρ , is given by the expression

$$\rho \approx \gamma^{1/(d+2)} (r_0 / r_{ee})^{(d-1)/(d+2)} r_{ee}, \quad (1)$$

where $\gamma = \Delta / \mathcal{E}_{ee} |_{r_{ee}=r_0}$ is the main parameter governing the interplay between the Coulomb interaction and the disorder. The difference, $\delta\mathcal{E}$, between the COALES energy per electron and that of the Wigner crystal with the same n_e turns out to be equal

$$\delta\mathcal{E} \approx \gamma^{2/(d+2)} (r_0 / r_{ee})^{2(d-1)/(d+2)} \mathcal{E}_{ee}, \quad (2)$$

The above expressions show that $\delta\epsilon/\epsilon_{ee}$ and ρ/r_{ee} both go to zero when $r_{ee}/r_0 \rightarrow \infty$. This gives proof to COALES existence.

Owing to an intrinsic disorder of the considered system, there are inevitably random (but small) deviations of the electron positions from the Wigner-crystal sites even at zero temperature. We have shown that this weak residual randomness is described in terms of a dipole glass on the Wigner-crystal background, the typical dipole length being $\approx \rho$. It has turned out that the ground state of the dipole glass possesses a multi-valley degeneration akin to that in the spin glasses. This brings about a non-ergodic behavior of the dipole glass, which can be revealed by observation of different relaxation processes in COALES proceeding for anomalously long times.

Low-temperature conduction in COALES is by transfer of charged point defects of the Wigner crystal (positively charged vacancies and interstitial electrons), COALES conductivity σ being proportional to their concentration. Hence, σ does not obey Mott's law for the Fermi glass and within the pre-exponential factor is of a pure activation character, not by the long-range hopping.

It has been shown that with an increase in n_e the COALES turns into other macroscopic states. Depending on a value of the parameter γ there are two alternatives:

1. If $\gamma \geq 1$, the ratio ρ/r_{ee} becomes comparable with unity as n_e increases, and COALES turns to an entirely disordered state, 'non-Fermi glass', with the space correlation length $\approx r_{ee}$ and $\epsilon_{ee} \gg \epsilon_F$.
2. If the parameter γ is small, ρ as a function of n_e reaches its least possible value $\approx r_0$ at such n_e that $r_0/r_{ee} \ll 1$, remaining of the same order with a further increase in n_e . It is essential that this occurs for Δ less than the typical change, $\epsilon_{ee}(r_0/r_{ee})^2$, in the Coulomb energy of the system as an electron hops between neighboring wells. What this inequality means is that it is the Coulomb interelectron repulsion in its own localizes the electrons at the wells, and the random scattering of the electron levels can be neglected. In other words, for $\gamma \ll 1$ an increase in n_e leads to a phase transition from COALES to a self-localized electron state.

The COALES can exist up to n_e values that are only several times less than n_0 . The proper materials to observe COALES are various amorphous narrow-band conductors, superlattices, and inversion layers wherein n_e can be varied within wide limits without affecting the disorder. In the aspect of two-dimensional COALES detection, GaAs-AlGaAs superlattices with the so called ' δ -layers' are expected to be most favorable.

The main outlines of COALES and the associated structures (non-Fermi glass and self-localized electron state) are to be issues of our further detailed publications.

Организационный комитет:

Академик НАН Украины В.М. Яковенко (сопредседатель)
Проф. В.А. Ямпольский (сопредседатель)
Д-р И.Н. Воловичев, К.В. Ильенко, С.А. Деревянко.

Все доклады на Семинаре являются приглашенными.

Ответственный за выпуск к.ф.-м.н. Тарасов Ю.В.

Подписано к печати 31.10.2001 р. Заказ №48.

Формат 60×90/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,75. Тираж 30 экз.

Бесплатно.

Ротапринт ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины
61085, Харьков, ул. Акад. Проскуры, 12.