

20. А.В. Ведяев Использование поляризованного по спину тока в спинтронике // УФН, 2002, т.172, № 12, с.1458-1461.
21. C.J.P.Smits, A.T.Filip, J.T.Kohlhepp, H.J.M.Swagten, B.Koopmans, W.J.M. de Jonge Magnetic and structural properties of EuS for magnetic tunnel junction barriers // *Appl. Phys.*, 2004, vol. 95, No. 11, pp. 7405-7409.
22. H.Kepa , G.Springholz , T.M.Giebultowicz , K. I. Goldman etc. Magnetic interactions in EuTe epitaxial layers and EuTe/PbTe superlattices // *Phys. Rev. B*, 2003, vol. 68, No. 2, pp. 024419.1-024419.16.
23. Ю.Ф. Головинев. Наноразмерные ферромагнитные гетеросистемы. Тула: Изд-во ТГПУ, 2007, 262 с.
24. K.G. Nikiforov. Magnetically Ordered Multinary Semiconductors. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials. Vol. 39. – Oxford: Pergamon, 1999, 104 p.
25. А.В.Антонов, К.Г. Никифоров Моделирование спинtronных структур CdCr<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>/CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> //Электронный журнал «Исследовано в России», 2008, т. 11, с. 1008-1017. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/091.pdf>.
26. А.В. Антонов, К.Г. Никифоров. Процессы спинового транспорта в спинtronных структурах HgCr<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>/CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> //Вестник Калужского университета, 2008, №3, с.16-20.
27. Туннельные явления в твердых телах /Ред. Э. Бурштейн, С. Лундквист. – М.: Мир, 1973, 367 с.
28. K.G. Nikiforov, M. Baran, V.K. Belyaev et al. Magnetization and chromium ions with minority valency in CdCr<sub>2</sub>S<sub>4</sub> and HgCr<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> //Physica Status Solidi (B), 1990, vol.158, No.1, pp.63-67.
29. T.Arai, M.Wakaki, S.Onari, K.Kudo, T.Satoh, T.Tsushima Magnetoabsorption in single-crystal HgCr<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> // J. Phys. Soc. Japan, 1973, v.34, No1, pp. 68-73.
30. N.Koguchi, K.Masumoto. Electrical properties of the n-type ferromagnetic semiconductor HgCr<sub>1.9</sub>In<sub>0.1</sub>Se<sub>4</sub>/Ag Schottky-barrier diode // Japan. J. Appl. Phys., 1980, vol. 19, suppl. 19-3, pp.273-278.
31. К.Г. Никифоров, Э.А. Вент, М.В. Косов, С.Н. Смирнов. Гигантское магнитосопротивление в ферромагнитных металлах и полупроводниках // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: Материалы межд. конф., Москва, 2003. – Москва: МИРЭА, 2003, с.33-35.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГАММА-ЭЛЕКТРОНИКИ

В.И. Канавец<sup>1</sup>, Ю.Д. Мозговой<sup>2</sup>, С.А. Хриткин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова,

<sup>2</sup>Московский государственный институт электроники и математики  
(технический университет)

1. Рассматривается новое научное направление – ГАММА-ЭЛЕКТРОНИКА ( $\gamma$ -электроника), в котором исследуется взаимодействие электронных и позитронных потоков с электромагнитным полем в  $\gamma$ -диапазоне длин волн.

В гамма-электронике изучаются задачи и проблемы получения и длительного существования электронно-позитронного вещества (ЭПВ) с уникальными свойствами [1]:

- экстремально большой запасенной энергией, выделяющейся в процессе коллективной замедленной аннигиляции,
- свойствами сверхтекучести и сверхпроводимости,

- реализацией режимов с отложенной аннигиляцией,
- возможностью самоорганизации ЭПВ с получением макроскопических квантовых сверхплазмоидов,
- возможностью создания каскадной реакции коллективной аннигиляции электронно-позитронных пар (сгустков) с реализацией когерентного  $\gamma$ -излучения.

Уникальность электронно-позитронного вещества (ЭПВ) в том, что оно содержит наряду с электронами и виртуальными фотонами античастицы – позитроны. В результате пары электрон-позитрон ( $e^-e^+$ ) имеют запасенную энергию  $1,02 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ , выделяющуюся при аннигиляции. Время жизни позитрона до аннигиляции обычно мало, но может быть существенно увеличено при получении сверхтекучего или сверхпроводящего макроскопического квантового состояния ЭПВ.

В работе [1] предложена и изучена возможность получения новой формы ЭПВ в виде сверхтекучей или сверхпроводящей жидкости. Отдельно взятые электроны и позитроны, а также атомы и молекулы позитрония, очень легки и отличаются большой квантовой кинетической энергией локализации, сохраняющейся при абсолютном нуле температуры и мешающей объединению частиц. Многие трудности снимаются при переходе к системам делокализованных электронов и позитронов при плотностях частиц, соответствующих металлическому сверхсостоянию. Электроны и позитроны ЭПВ, находящиеся в S-состоянии вблизи своих поверхностей Ферми, могут образовать куперовские электронные и позитронные пары. Пары являются бозонами и в области макроскопических параметров образуют сверхтекущие конденсаты электронных и позитронных пар.

В группах частиц с равным числом электронов и позитронов  $N_e=N_p > 2$ , действуют принципы зарядового сопряжения и тождественности, позволяющие рассмотреть макроскопический резонансный механизм одновременного обмена групп электронов и позитронов. Возникает конденсат в виде сверхтекучей нейтрализованной жидкости на основе двойных электронно-позитронных пар.

2. Обсуждается возможность длительного существования метастабильного электронно-позитронного вещества (ЭПВ) с экстремально большой запасенной энергией, выделяющейся в процессе замедленной аннигиляции. Динамическая самоорганизация ЭПВ основана на коллективном эффекте тождественности, присущем группам частиц, состоящим из равного числа электронов и позитронов. Самоорганизация сопровождается фазовой самофокусировкой. В пределах протяженного активного объема фаза становится медленно меняющейся, а вещество в объеме представляет собой единое целое.

Процессы, происходящие в веществе, описываются с помощью макроскопических одночастичных волновых функций электронов и позитронов, а также двухчастичной волновой функции электронно-позитронных пар – поля Дирака. Квадраты модулей функций равны

плотностям соответствующих частиц. Фазы функций допускают одновременное измерение вместе с амплитудами.

Макроскопическое электронно-позитронное поле получается после усреднения микроскопического поля. Это поле является полем частиц и античастиц с ненулевой массой покоя (полем материи), в отличие от электромагнитного поля излучения, являющегося полем безмассовых частиц – фотонов (гамма-квантов).

ЭПВ с длительным временем жизни возникает в результате конденсации многих пар частиц или парных групп электронов и позитронов при большой их плотности. Вещество является соединением трех фундаментальных частиц (электронов, позитронов, фотонов), самоорганизующихся в одном макроскопическом квантовом состоянии при обычных условиях. В активной среде образуются квантовые макроплазмоиды, в том числе сверхтекущие объекты на основе S-волн, электронно-позитронные кристаллы и металлическая плазма.

Известным примером ЭПВ простого типа служат водородоподобные электронно-позитронные атомы – позитронии. ЭПВ в ряде случаев является аналогом электронно-ионного вещества, причем часть позитронов может быть заменена на положительные ионы, а в сверхпроводниках ионы могут заменяться на позитроны.

Среднее расстояние между микрочастицами различных вариантов ЭПВ находится в пределах  $1\text{--}100 \text{ \AA}$ . Это расстояние гораздо больше размеров области аннигиляции электронно-позитронных пар  $d_A \sim 10^{-11} \text{ см.}$  и таким образом обеспечивает получение замедленной (или отложенной) аннигиляции электронно-позитронных пар.

Для исследования макропроцессов применимо представление об ЭПВ как о бесстолкновительной плазме с электрическим взаимодействием и нулевым спином частиц вещества, находящихся в малых объемах. Электроны и позитроны удовлетворяют статистике Ферми-Дирака, однако, электронные и позитронные куперовские пары, а также электронно-позитронные двойные пары или группы пар, являются бозонами и могут находиться в макроскопических квантовых состояниях, представляя собой единое целое – сверхпроводящий или сверхтекущий конденсаты. Эти объекты являются объектами большой массы (тяжелыми телами), взаимодействие с которыми существенно уменьшает вероятность аннигиляции. Периодическое чередование положительных и отрицательных зарядов частиц на начальном этапе взаимодействия также существенно уменьшает вероятность аннигиляции.

3. Как следует из предыдущего рассмотрения [1,2], можно выделить несколько основных этапов работы, соответствующих возможностям эксперимента в области гамма-электроники с релятивистскими электронными и позитронными потоками:

- получения импульсного потока релятивистских электронов на ускорителе в лаборатории;

- тормозного излучения релятивистских электронов при прохождении мишени с генерацией направленных потоков гамма-квантов;
- кратковременного импульсного воздействия мощного сходящегося потока гамма-квантов на среду, находящуюся в области фокального пятна, с реализацией множественного рождения электронно-позитронных пар;
- получения и обеспечения длительного существования электронно-позитронных пар под действием гамма-квантов;
- парное обменное взаимодействие сгущений частиц разного знака;
- торможения вновь появившихся частиц с переходом от парных столкновений к коллективному процессу объединения групп тождественных частиц в сгущения зарядов одного или разного знаков;
- нелинейный обменный процесс с синхронизацией колебаний во всей области, быстро протекающей компенсацией кулоновского поля и ростом волнового поля вокруг общего центра, что приводит к самоорганизации системы в конденсат шаровой формы.

4. В настоящее время изучены многие варианты резонансных процессов, описываемых макроскопическими волновыми функциями электронов и позитронов при использовании упрощенной функции распределения зарядов типа крупного электрона и крупного позитрона.

Нелинейные эффекты при обменном взаимодействии имеют много общего с процессами в классических нелинейных средах. В классической области нелинейные процессы приводят к оптимизации группирования в генераторах СВЧ диапазона [2,3]. В квантовой области важна обратная задача – минимизация излучения с увеличением времени жизни плазмоида путем перехода к замедленной или отложенной аннигиляции.

Нелинейные обменные процессы приводят к появлению макроплазмоидов с равными симметричными волновыми функциями частиц. В системе быстро нарастает общее поле центрально-симметричных S – волн.

В СВЧ-электронике потоки электронов обычно рассматриваются с учетом коллективного взаимодействия при пренебрежении столкновениями [2,3]. В этом же приближении будем рассматривать потоки электронов и позитронов. Амплитуды волновых функций медленно меняются в пространстве и времени. Изменение этих функций может соответствовать поведение одночастичных функций в теории сверхтекучести [1].

В свободном состоянии сверхплазмойд имеет форму шара. Вблизи неоднородностей он проявляет свойства сверхпроникновения, прежде всего, сверхпроникновение в диэлектрик. Обменные процессы в шаре моделируются с использованием макроскопических волновых функций электронов и позитронов квантовой теории [1]. В частности, показано, что равенство волновых функций электронов и позитронов, а также прохождение плазмоида сквозь диэлектрик без изменения свойств возможно в случае динамической компенсации кулоновского поля.

Резонансные эффекты при квантовом обменном взаимодействии ведут к резонансной самоорганизации активного объема заряженной среды и

продолжаются вплоть до динамической компенсации кулоновского поля и установления динамической электронно-позитронной моды. Отметим тесную связь эффекта тождественности при зарядовом сопряжении и эффекта динамической компенсации кулоновского поля во всем объеме.

Нелинейные эффекты при обменном взаимодействии имеют много общего с процессами в классических нелинейных средах. В классической области нелинейные процессы приводят к оптимизации группирования в генераторах и усилителях СВЧ диапазона [2,3]. В квантовой области важна обратная задача – минимизация излучения с увеличением времени жизни плазмоида путем перехода к замедленной или отложенной аннигиляции.

5. В рамках модели «холодной» бесстолкновительной плазмы справедлив переход к уравнениям для вырожденных носителей заряда [1,4,5]. Компоненты плазмы описываются с помощью макроскопических одночастичных волновых функций с одновременно измеряемыми амплитудами  $|\Psi_{e,p}|$  и фазами  $S_{e,p}$  электронов и позитронов  $\Psi_{e,p}(\mathbf{R}, t) = |\Psi_{e,p}(\mathbf{R}, t)|\exp[iS_{e,p}(\mathbf{R}, t)]$ . Усредненное описание с помощью волновых функций электронов  $\Psi_e$  и позитронов  $\Psi_p$  дает возможность рассмотрения электронных и позитронных жидкостей с плотностями зарядов  $\rho_e = -|e|\Psi_e^2$ ,  $\rho_p = |e|\Psi_p^2$ . Двойные пары являются бозонами и могут длительно находиться в макроскопическом квантовом состоянии, представляя собой единое целое – конденсат типа сверхжидкости.

В макроскопическом основном состоянии важны медленно меняющиеся центрально симметричные поля (S-волны), радиальная структура которых определяется коллективными эффектами. В компенсированных по кулоновскому полю квантовых макроплазмоидах частицы делокализованы в соответствии с резонансом, частота которого определяется длиной волны де Бройля. Макроскопическое квантовое состояние представляет собой особую электронно-позитронную среду, образованную частицами вещества (электронами и позитронами) и полем виртуальных фотонов. В квантовой теории плазмы при большом числе частиц волны де Бройля трансформируются в волны плотности заряда.

Проводится совместное решение уравнений Шредингера и Пуассона для макроскопических волновых функций электронов и позитронов [1,6]. При выборе параметров учитываются нелинейные обменные колебания, обусловленные интерференцией волновых функций. Число обменных колебаний определяется величиной нелинейности среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Канавец В.И. Электронно-позитронное вещество: от позитрония до сверхжидкости и шаровой молнии. М.: Изд-во «Педагогическое общество». 2009.
- Бугаев С.П., Канавец В.И., Кошелев В.И., Черепенин В.А. Релятивистские многоволновые СВЧ-генераторы. Наука. 1991.
- Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И. Излучение мощных электронных потоков в резонансных замедляющих системах. М.: МГУ. 1993.
- Фортов В.Е. Экстремальные состояния вещества на земле и в космосе. М.: Наука. 2008.

5. Александров А.Ф., Рухадзе А.А. Лекции по электродинамике плазмоподобных сред (неравновесные среды). М.: МГУ. 2002.
6. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А. Обменное взаимодействие электронных и позитронных сгустков. //Радиотехника и электроника. Т. 55. №4. 2010. С. 500

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕР ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕДОСТАТКОВ В РАБОТЕ МАГНЕТРОНА

Омиров А.А.<sup>1</sup>, Чистяков К.И.<sup>1</sup>. Скрипкин Н.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный институт электроники и математики*

E-mail: lmis@miem.edu.ru;

<sup>2</sup>*OAO «Плутон».*

В специальной аппаратуре применяется генератор СВЧ энергии в виде коаксиального магнетрона 2 см диапазона длин волн. Целью работы является модернизация магнетрона, вызванная необходимостью обеспечить возросшие требования к стабильности работы прибора.

При испытаниях на холдоустойчивость магнетрона критерием оценки времени готовности изделия установлен выбег частоты. Практика использования магнетрона показала недостаточность такой оценки, поэтому были сформулированы дополнительные требования на магнетрон при испытаниях его на холдоустойчивость и проверку времени готовности.

Были сформулированы следующие задачи работы:

- определение факторов, влияющих на величину флюктуаций фронта импульса при испытаниях на холдоустойчивость;

- разработка конструктивно-технологических мероприятий для уменьшения среднеквадратической величины флюктуаций фронта импульса, улучшения частотной стабильности магнетрона.

Для выяснения картины поведения магнетрона существующей конструкции были проведены испытания по проверке работоспособности изделий в условиях минус 60°C с выдержкой 1 час.

Результаты испытаний следующие:

1. Практически все магнетроны после введения в номинальный режим имели величину среднеквадратических флюктуаций переднего фронта от 10 до 20нс.

2. На некоторых магнетронах в момент включения длительность ВЧ огибающей была существенно меньше, чем требовалось (вплоть до 0.25мкс вместо 0.5мкс). Соответственно, ширина спектра не соответствовала норме 2/т + 25%. После работы магнетрона в течение примерно 2 ÷ 3 секунд длительность ВЧ огибающей приходила к значению 0.5мкс.

3. Практически все магнетроны при работе на частоте  $f_{\max}$  при максимальном токе  $I_a \max$  на КСВ 1,3 и фазе нагрузки имели пропуски ВЧ импульсов даже при испытаниях в нормальных климатических условиях.

Известно, что создание предпочтительных условий возбуждения рабочего вида колебаний определяется не только сохранением симметрии структуры ВЧ поля рабочего вида колебаний в пространстве взаимодействия, но и