

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГАММА-ЭЛЕКТРОНИКИ

В.И. Канавец¹, Ю.Д. Мозговой², С.А. Хриткин²

¹МГУ им. М.В. Ломоносова,

²Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет)

The physical problems of gamma-electronics are considered. GAMMA ELECTRONICS (γ -electronics) - a new scientific way which studies the interaction of electron and positron beams with the electromagnetic field in the γ -range of wavelengths. The gamma-electronics study how to obtain and the prolonged existence of electron-positron substance (EPS) with unique properties. The resonance effects in the exchange interaction in the EPS, leading to compensation of the Coulomb field and the selforganization of electron-positron medium in the form of macroscopic quantum superplasmoid are investigating. The basic stages of work, the relevant features of the experiment in the area of gamma-electronics with relativistic electron and positron beams are marked.

1. Рассматривается новое научное направление - ГАММА-ЭЛЕКТРОНИКА (γ -электроника), в котором исследуется взаимодействие электронных и позитронных потоков с электромагнитным полем в γ -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 сверхплазматических,
- возможностью создания каскадной реакции коллективной аннигиляции электронно-позитронных пар (сгустков) с реализацией когерентного γ -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 сверхтекучие 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 макроплазмиды, в том числе сверхтекучие 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 $1 \div 100 \text{ \AA}$. 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 сверхтекучий конденсат. 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 мишеней 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 макроплазмOIDов 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 поведению одночастичных функций в теории сверхтекучести [1].

В свободном состоянии сверхплазмOID 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 Ψ_e и позитронов Ψ_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

1. Канавец В.И. Электронно-позитронное вещество: от позитрония до сверхжидкости и шаровой молнии. М.: Изд-во «Педагогическое общество». 2009.
2. Бугаев С.П., Канавец В.И., Кошелев В.И., Черепенин В.А. Релятивистские многоволновые СВЧ-генераторы. Наука. 1991.
3. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И. Излучение мощных электронных потоков в резонансных замедляющих системах. М.: МГУ. 1993.
4. 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