

УДК 533.9: 537.53

VI Международное совещание по физике сложных заряженных систем и их взаимодействию с электромагнитным излучением

М. Ю. Романовский

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

Представлено очередное VI Международное совещание по физике сложных заряженных систем и их взаимодействию с электромагнитным излучением, состоявшееся 9 и 10 апреля 2008 г. в Москве в Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН. Определены место совещания в спектре научных российских и международных конференций, его тематика, представлены устроители и организаторы, дан краткий обзор наиболее интересных докладов.

PACS: 41.20.-q

Введение

Перечень исследований по физике плазмы необъятен. Соответственно и число конференций, на которых обсуждаются вопросы физики плазмы, очень велико. Достаточно назвать только "долгоживущие" международные конференции: по физике плазмы и управляемому синтезу, по явлениям в ионизированных газах, европейскую конференцию по лазерному взаимодействию с веществом и др. В России эту нишу занимает в первую очередь Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу.

Несколько особняком стоят исследования по неидеальной плазме. Чаще всего основные конференции по теме "Физика неидеальной плазмы" проводятся в Германии Д. Хоффманном, Г. Репке и В. Эбелингом. В России самый представительный форум по этой тематике организует Объединенный институт высоких температур (сессия РАН по физике неидеальной плазмы, В. Е. Фортов и И. Л. Иосилевский), проводятся еще несколько научных мероприятий.

В 2003 г. группа ученых из России и Германии организовала первое совещание (под названием "Физика комплексной (сложной) плазмы и ее взаимодействие с электромагнитным излучением"), основной идеей которого было услышать из первых уст (специалистов) состояние исследований, не имеющих отношения к классическим решениям проблемы термоядерного синтеза или спектроскопии ионов, но к нетрадиционным отраслям физики плазмы: ионных кластеров, наноплазмы, пылевой

плазмы и некоторых других. В дальнейшем возникла необходимость несколько расширить тематику, включив в круг рассматриваемых задач и неплазменные системы заряженных частиц.

Достаточно характерной является тематика последнего VI совещания. На нем были представлены следующие секции:

- "Динамика микро- и наноплазмы под действием сверхсильного электромагнитного излучения".
- "Взаимодействие кластеров, микрокапель и микрошариков со сверхмощным лазерным излучением".
- "Взаимодействие структурированной плазмы с мощным лазерным излучением, ускорение частиц".
- "Взаимодействие сложной плазмы с неэлектромагнитными системами".
- "Динамика сложной пылевой плазмы и ее взаимодействие с электромагнитным излучением".
- "Статистическая физика сложной плазмы".
- "Комплексная динамика мезоскопических систем заряженных частиц".

Устроителями совещания все годы были Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН (Москва, Россия) и фонд А. фон Гумбольдта (Берлин, Германия).

Председателем Программного комитета является П. П. Пашинин, сопредседателями — В. Е. Фортов и В. П. Крайнов (все из России), членами комитета — М. Я. Амусья (Израиль), В. В. Белый, А. Я. Фаенов, А. М. Игнатов, О. Ф. Петров (Россия), Б. Чичков, В. Эбелинг, М. Калашников, Г. Репке (Германия), Ж. Майнар (Франция).

Организатором совещания является М. Ю. Романовский.

* Статьи представлены по материалам VI Международного совещания.

Последние годы совещание включено в план мероприятий РАН и поддерживается ею финансово. Финансовая поддержка оказывается также РФФИ и фондом А. фон Гумбольдта — за счет последнего и состоялось, в сущности, становление совещания.

В разные годы приглашенными докладчиками на совещании были, помимо членов Программного комитета, такие известные иностранные ученые, как П. Никлес, В. Крефт, Ю. Шмельцер (Германия), Р. Мантенья (Италия), А. Г. Загородний (Украина) и др.

Наиболее активные приглашенные докладчики из России (О. Ф. Петров, А. Я. Фаенов) были избраны в состав Программного комитета (О. Ф. Петров в 2008 г. — и членом-корреспондентом РАН).

Начиналось совещание с 20 докладов и 40 участников: в 2008 г. было уже 34 доклада и 80 участников. Довольно велико представительство молодых ученых — в среднем ими делается 20—30 % от общего числа докладов.

Наиболее интересные доклады, представленные в 2008 г.

Проблема взаимодействия сверхмощного лазерного излучения со сложными мишенями привлекает огромное внимание исследователей в первую очередь потому, что в результате такого взаимодействия можно создать плазму с заданными и необычными параметрами. Достаточно вспомнить проблему инерциального термоядерного синтеза, решение которой уже давно ищется именно на этом пути. Практические же применения подобной плазмы фактически безграничны, так что представленная работа находится на переднем фронте мировых исследований.

- В докладе **И. Ю. Скобелева** *"Диагностика плазмы, создаваемой при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на мишени с внутренней наноструктурой"* проведена рентгеноспектральная диагностика лазерно-кластерного взаимодействия на этапе неадиабатического разлета кластеров и формирования пространственно-однородного плазменного канала. Наиболее важным результатом работы является вывод о том, что измеренная относительно высокая температура плазмы $T_e \sim 100$ эВ достигается за счет нагрева разлетающихся кластеров задним фронтом лазерного импульса.

- Интересный эффект увеличения степени ионизации микроплазмы после окончания мощного сверхкороткого лазерного импульса был доложен **В. В. Букиным** и **С. В. Гарновым**. В качестве механизма была предложена ионизация "долгожи-

вущими свободными" горячими электронами плазмы.

- В докладе **В. П. Крайнова, А. В. Софронова** *"Радиационная рекомбинация при облучении атомарных кластеров интенсивными фемтосекундными лазерными импульсами"*, по-видимому, впервые предпринята попытка объяснения ряда наблюдающихся в плазме кластерных ионов рентгеновских линий как переходов в ионизированном кластере как отдельном заряженном теле.

Механизм коллективной фоторекомбинации на ионизированном кластере, рассматриваемый в данной работе, действительно приводит к гораздо более жестким фотонам, чем обычный механизм фоторекомбинации на атомарных ионах.

Предложенный механизм генерации удовлетворительно объясняет эти "внесистемные" линии жесткого рентгеновского излучения, что является важным результатом, пригодным для диагностики такой плазмы (кластерных ионов). Работа заявляет приоритет отечественной физической школы в весьма интересной области физики — фемтосекундной лазерной плазме кластерных ионов.

- В докладе **М. Я. Амусья** и **Л. В. Чернышевой** *"Эндоздрические резонансы: модификация атомной фотоионизации оболочкой фуллерена"* рассматривается резонансная структура фотоионизации атомов (благородных газов, а также некоторых других), помещенных в оболочку фуллерена C_{60} . Показано, что комбинация двух эффектов — поляризации электронов оболочки фуллерена и "запирания" фотоэлектрона внутри этой оболочки — приводит к возрастанию сечения фотоионизации в максимуме до 20—30 раз. При этом меняется монотонный характер зависимости сечения фотоионизации от энергии кванта, сечение приобретает характерный резонансный характер (отсюда название статьи). Эта работа — одна из первых, где предложено внятное фундаментально-физическое применение фуллерена как своеобразного селектора для усиления фотоионизации.

- В докладе **А. Л. Галкина, В. К. Климова, В. В. Коробкина, М. Ю. Романовского, О. Б. Ширяева** *"Генерация электроном субаттосекундных электромагнитных импульсов при движении в релятивистски интенсивных лазерных полях"* представлено исследование электромагнитного излучения электрона при движении его в поле интенсивного лазерного импульса релятивистской интенсивности для случаев линейной и круговой поляризации.

Оказалось, что в такой простой задаче, во-первых, не все известно, во-вторых, электромагнитное излучение электрона при таком движении состоит из очень коротких импульсов с длительностью в зептосекундном (субаттосекундном)

диапазоне. Теоретическое предсказание генерации зептосекундных электромагнитных импульсов произведено, по-видимому, впервые в физической литературе.

Повышение интенсивности лазерных импульсов до релятивистских (10^{18} Вт/см²) и гиперрелятивистских значений открыло совершенно новые возможности фундаментальных исследований вещества. Проблема заключается однако в том, что факт получения таких интенсивностей непосредственно на мишени в вакуумной камере, как это обычно требуется для различных экспериментов, отнюдь не всегда очевиден. Простые оценки интенсивности типа мощность пучка, деленная на площадь пятна фокусировки, недостаточны, так как потери энергии импульса "по дороге" к мишени очень часто огромны. Одним из способов достоверных оценок является измерение тормозного рентгеновского излучения плазмы на мишени, которое обычно генерируется так называемой сверхтепловой, или убегающей электронной фракцией плазмы.

- В докладе **А. А. Воробьева и др.** "Получение релятивистской интенсивности с использованием фемтосекундного излучения *Ti:Sapphire* лазерной системы с пиковой мощностью 0,2 ТВт" получены релятивистские сверхтепловые электроны, что, вообще говоря, напрямую измерено впервые.

Крайне интересна также зависимость спектра электронов от контраста лазерного импульса: возрастание энергии с ухудшением контраста должно еще найти свое теоретическое описание (например, аномальный скин-эффект для этого явно не годится).

Проблема механизмов генерации реликтового излучения обсуждается в научной литературе достаточно давно, важность его обусловлена тем обстоятельством, что по характеристикам реликтового излучения возможна оценка динамики параметров стандартной модели (сильного КХД взаимодействия), например изменения масс частиц (динамики хиггсовых полей).

- Представленный доклад **С. А. Смолянского и др.** "Вакуумное рождение *W*- и *Z*-бозонов в ранней космологии как дополнительный источник реликтового излучения" предлагает модель быстрого изменения масс *W*- и *Z*-бозонов в период электрослабого фазового перехода в ранней Вселенной. Главный интерес к этому сектору фазового перехода обусловлен в первую очередь неоднозначностью в выборе одного из двух известных вариантов теории массивных векторных полей и связанной с этим неоднозначностью в описании массивных векторных частиц.

В докладе показано, что такой механизм, по-видимому, не может обеспечить достаточно ин-

тенсивное рождение частиц, дающее заметный вклад в плотность реликтовых фотонов. Этот результат важен для корректного построения динамики хиггсовых полей.

- В докладе **С. А. Тригера** "Непланковское равновесное излучение плазмодобных сред" рассмотрено термодинамическое равновесие систем зарядов и излучения в случае, если часть спектра излучения запрещена. При этом оказывается, что формула Планка для спектра черного излучения должна быть скорректирована: фактически излучение теперь не является излучением абсолютно черного тела, однако и не является излучением с характерным линейчатым и полосатым спектром. Исследование такого промежуточного случая важно для ряда физических аспектов термодинамики.

Кроме упомянутых авторами плазмы ранней Вселенной и плазмы металлов, представляются интересными еще два нерассмотренных авторами случая. Первый случай — это плазма "самой ранней" Вселенной, где еще нет электронов и ионов (протонов), т. е. ранняя кварк-глюонная плазма, во втором случае интересным полем являются электролиты, в том числе живых существ — тепловое излучение живых существ также может быть непланковским.

- Интересной оказалась в 2008 г. "Секция пылевой плазмы". Обстоятельный доклад **А. Г. Загородного** об эффективном взаимодействии зерен в плазме дал полное современное представление о проблеме экранирования потенциала взаимодействия в пылевой плазме.

- Доклад **О. Ф. Петрова, В. Е. Фортова и др.** был посвящен взаимодействию пылевой плазмы с сильным магнитным полем, ультрафиолетовым излучением, электронными пучками.

- В докладе **А. В. Филиппова** "Экранирование равномерно движущейся в неравновесной плазме заряженной микрочастицы" впервые рассмотрена задача об экранировке движущегося тела в плазме с учетом притока и стока зарядов с него. Показано, что в этом случае потенциал такой частицы имеет дипольную асимптотику в отличие от бесстолкновительной плазмы. В предложенной модели возможно ускорение микрочастицы индуцированными зарядами, т. е. ранее упоминавшееся "отрицательное трение". Наиболее интересным результатом работы является демонстрация притяжения к частице тел, находящихся в кильватере движущейся микрочастицы, и отталкивания — для тел, находящихся в фарватере.

- Весьма важен способ "приготовления" пылевой плазмы. В докладе **В. А. Рыкова и др.** "Самоорганизация пылевых частиц в плазме пучка протонов" представлен как раз нетрадиционный

способ формирования с помощью пучка протонов в инертных газах (He, Ar, Kr). Плазма, сформированная таким способом, представляет значительный интерес, например, с астрофизической точки зрения. Экспериментально такой метод формирования значительно более сложен по сравнению с обычными. По-видимому, главным результатом работы является получение стабильных упорядоченных пылевых структур — "плазменно-пылевого кристалла" из пылевых частиц с различными размерами.

Кроме того, в работе развита достаточная тематическая модель, позволившая провести численное моделирование образования кристалла из пылевых частиц в плазме, формируемой пучком протонов.

• Доклад **В. Эбелинга** был посвящен влиянию плазменных микрополей на процесс слияния ядер (термоядерного синтеза). К нему примыкал доклад **С. П. Садыковой, И. А. Валуева, В. Эбелинга и И. М. Соколова** "*Распределения электрического микрополя в неидеальной электрон-позитронной плазме. Молекулярно-динамическое моделирование*".

Работа посвящена актуальной теме исследования плазменного микрополя в неидеальной двухкомпонентной плазме (> 95 % опубликованных работ, в том числе классические работы Баранжера, Хупера, Иглесиаса, Янковичи, Лейбовича и др., рассматривают только однокомпонентную плазму).

Детально методом компьютерного моделирования молекулярной динамики исследуются, в частности, "хвосты" функции распределения электрического микрополя. Дело в том, что ряд теоретических работ предсказывал (для электронного микрополя на ионах плазмы) превышение функции распределения над хольтсмарковской (для идеальной плазмы) $\sim E^{-2.5}$.

В представленной статье этот эффект — "утяжеление хвоста" распределения до $E^{-1.8}$ — $E^{-2.2}$ в зависимости от степени неидеальности и был обнаружен при компьютерных расчетах. Полученные результаты крайне интересны для оценок скоростей различных микроскопических процессов в плазме, например для вышеупомянутого слияния ядер — микрополя с таким "тяжелым хвостом" распределения могут сыграть существенную роль в процессе термоядерного синтеза, что важно, например, для теории звездной эволюции.

• В вызвавшем повышенный интерес докладе **С. А. Тригера, А. А. Рухадзе, Г. Ван Хейста и П. Шрама** "*О теоремах Найквиста и Каллен-Вельтона в статистической физике плазмы*" кор-

ректно установлены связи этих теорем в квантовом случае.

• Другая проблема статистической квантовой физики — математическое описание и физическое понимание динамики электронов в переходной области малых энергий "связанные состояния электрона — свободные состояния", имеющая достаточно длинную историю, рассмотрена в докладе **Г. Э. Нормана** "*Флуктуационный подход к описанию неидеальной плазмы. Часть I. Равновесная плазма*". Корректно этот переход учитывается статистической суммой Планка—Ларкина, но только в пределе нулевой плотности плазмы, имеются и другие ограничения.

Еще большие проблемы возникают для неидеальной плазмы, где эффекты плотности должны быть прямо учтены. В упомянутом докладе как раз и предложен подход (автор называет его динамикой "парных флуктуаций"), который позволяет учесть и связанные, и свободные состояния, включая коллективные движения в плазме (плазменные волны). Главным результатом этой части работы является компьютерная модель, позволяющая описывать такие парные состояния, при этом разрыв в плотности энергетических состояний при переходе через ноль естественным образом снимается.

• В докладе **А. В. Ланкина** "*Флуктуационный подход к описанию неидеальной плазмы. Часть II. Столкновительная рекомбинация в неравновесной плазме*" в развитие предыдущих результатов была рассмотрена столкновительная электрон-ионная рекомбинация в плазме (в пределе идеальной плазмы это просто трехчастичная рекомбинация).

Проблема скорости трехчастичной рекомбинации при малых температурах не нова — известная формула Гуревича—Питаевского прямо запрещает длительное (однако наблюдаемое в реальности) существование неидеальной плазмы.

Многочисленные попытки обобщить вышеупомянутую формулу были либо слишком грубыми, либо относились к достаточно специфическим экспериментальным ситуациям. Фактически самые лучшие работы были выполнены для такой рекомбинации в почти идеальной плазме. Разработанная же компьютерная модель на основе представления парных флуктуаций позволила расширить круг рассматриваемых параметров плазмы достаточно далеко в область реальной неидеальности (параметра неидеальности в несколько единиц). Главным результатом работы является количественное описание подавления столкновительной рекомбинации в неидеальной плазме, за счет которого такая плазма и существует.

На совещании было заслушано также много других интересных докладов.

Российские научные кадры старшего поколения, занимающиеся тематикой, представленной на совещании, — В. П. Крайнов, В. В. Коробкин, И. К. Красюк, Г. Э. Норман, П. П. Пашинин, А. А. Рухадзе, В. А. Рыков, С. А. Смолянский, — находятся в хорошей "научной" форме и активны.

Среднее поколение российских физиков также представлено очень широко. Молодые ученые, студенты и аспиранты сделали 23 % докладов совещания, т. е. здесь ситуация — с воспроизводством квалифицированных научных кадров — не вызывает беспокойства. Однако крайне критическая ситуация сложилась с исследователями в возрасте от 30 до 50 лет — их откровенно мало.

На совещании учеными до 30 лет было представлено шесть докладов, от 30 до 40 лет — четыре, от 40 до 50 лет — три, от 50 до 60 лет — четыре, остальные — старше 60 лет. Эти цифры несколько лучше, чем на предыдущем совещании (нет откровенного провала для 30-летних), но также очень показательны.

Заключение

Международное совещание по физике сложных заряженных систем и их взаимодействию с электромагнитным излучением сложилось и заняло свое место в спектре научных мероприятий в области, кратко именуемой "физика плазмы".

Оно демонстрирует, что в целом российские исследования по тематике совещания занимают приоритетное место в мировой физике. Кроме того, эти исследования достаточно интегрированы в мировую науку, что позволяет быстро отслеживать главные достижения в этой научной области и не скатываться в научный "провинциализм".

Оказана финансовая поддержка совещания РФФИ (грант 08-02-06-043), РАН (программа поддержки научных мероприятий и программа поддержки молодых ученых) и фондом А. фон Гумбольдта (грант межинститутского партнерства между Гумбольдтским университетом в Берлине и Институтом общей физики им. А. М. Прохорова РАН).

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.

The 6-th International meeting on physics of complex charged systems and their interaction with electromagnetic radiation

M. Yu. Romanovsky

A. M. Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia

The next, Sixth International meeting on physics of complex charged systems and their interaction with the electromagnetic radiation is represented to readers. The meeting take place in A. M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Science on April, 9-th and 10-th, 2008. The report defines a place of meeting in a spectrum of scientific Russian and international conferences; its subjects and organizers are represented; the brief review of the most interesting reports is given.

PACS: 41.20.-q