

где $s = 4\pi r \sin \theta / \lambda$, 2θ — угол рассеяния, а $P(r)$ — функция Паттерсона — усредненная по всем ориентациям самосвертка рассеивающей плотности. Таким образом, для малоугловых исследований ($\sin \theta \sim \theta$)

$$I(\theta, \lambda) = 4\pi \int_0^D P(r) \frac{\sin 4\pi r \theta / \lambda}{4\pi r \theta / \lambda} r^2 dr = \frac{2\lambda^3}{(4\pi\theta)^3} \left(\sin \frac{4\pi\theta D}{\lambda} - \frac{4\pi\theta D}{\lambda} \cos \frac{4\pi\theta D}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

Этим выражением можно воспользоваться для вычисления функции распределения по размерам $D_N(R)$ (полидисперсности — числа частиц в единице объема), которая связана с интенсивностью МУРР выражением

$$I(s) = \int_0^\infty i_0(sR) D_N(R) m^2(R) dR, \text{ где } i_0(\theta R) = \int_{-\infty}^\infty \frac{2\lambda^3}{(4\pi\theta)^3} \left(\sin \frac{4\pi\theta R}{\lambda} - \frac{4\pi\theta R}{\lambda} \cos \frac{4\pi\theta R}{\lambda} \right)^2 \varphi(\lambda) d\lambda.$$

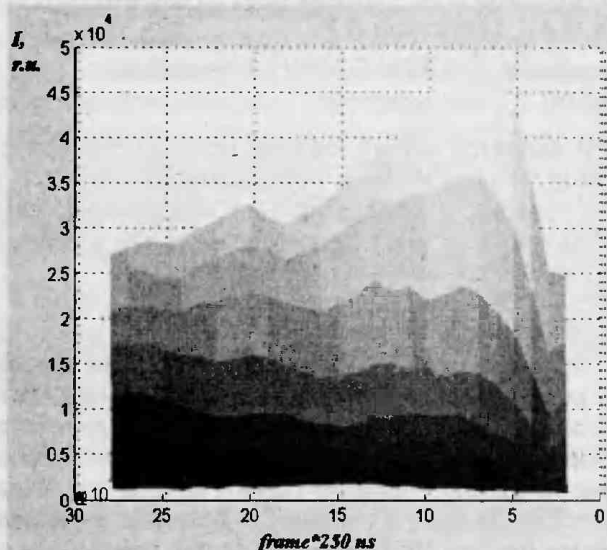


Рис. 2. Проекция интенсивности МУРР на плоскость время-интенсивность

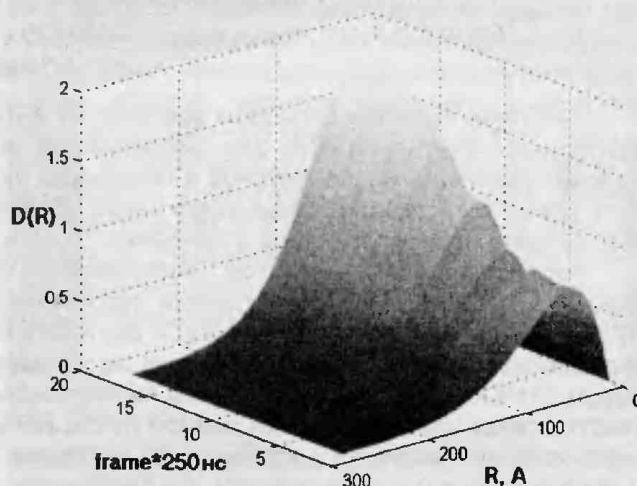


Рис. 3. Функция распределения по размерам

Далее, задавая $D_N(R)$ как параметрической зависимостью от нескольких параметров, и минимизируя выражение

$$\sum_i \left| I(\theta_i) - \int_0^\infty i_0(\theta_i R) D_N(R) m^2(R) dR \right| \quad (4)$$

по параметрам $D_N(R)$, где θ — набор экспериментальных точек, а $I(\theta)$ — измеренные значения интенсивности рассеяния в данных точках, находим функцию распределения по размерам.

На рис. 3 представлена ненормированная функция полидисперсности $D_N(R)$, вычисленная в результате аппроксимации распределением Максвелла

$$D_N(R) = (R/R_0)^n \exp[-(R/R_0)^2] K(n)/R_0$$

которая описывается двумя параметрами R_0 и n ($K(n) = 2/[(n-1)2]!$). На каждом этапе расчетов выполнялась проверка адекватности моделирования функции распределения по размерам посредством решения обратной задачи — нахождения профиля интенсивности МУРР из вычисленной $D_N(R)$, и сравнение ее с оригиналом.

Полученные результаты (рис. 3) показывают, что зв зоной химической реакции продолжается рост наноструктур. Этими наноструктурами, наиболее вероятно, являются частицы конденсированной фазы углерода (в том числе и УДА).

1. Evdokov O.V., Fedotov M.G., Kulipanov G.N., Lyakhov N.Z., Luk'yanchikov L.A., Misnev S.I., Sharafutdinov M.R., Sheromov M.A., Ten K.A., Titov V.M., Tolochko B.P., Zubkov P.I. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. 2001. V.470. P.236–239.
2. Алешаев А.Н., Зубков П.И., Кулипанов Г.Н., Лукьянчиков Л.А., Ляхов Н.З., Мишнев С.И., Тен К.А., Титов В.М., Толочко Б.П., Федотов М.Г., Шеромов М.А. // ФГВ. 2001. Т.37. №5. С.104–113.
3. Aulchenko A., Evdokov O., Papushev P., Ponomarev S., Shekhtman L., Ten K., Tolochko B., Zhogin I., Zhulanov V. // Budker INP 2002-55. P.3–24.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ И УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тен К.А.^{1*}, Антохин Е.И.², Гольденберг Б.Г.², Евдоков О.В.³, Жогин И.Л.³, Жуланов В.В.², Зубков П.И.¹, Каменецкий Ю.М.³, Кулипанов Г.Н.², Лукьянчиков Л.А.¹, Ляхов Н.З.³, Пирогов Б.Я.³, Титов В.М.¹, Толочко Б.П.³, Федотов М.Г.², Шарафутдинов М.Р.³, Шеромов М.А.², Успенский А.В.³

¹ИГиЛ СО РАН, Новосибирск, ²ИЯФ СО РАН, Новосибирск, ³ИХТТМ СО РАН, Новосибирск

*ten@hydro.nsc.ru

Первые эксперименты по использованию синхротронного излучения (СИ) для исследования взрывных процессов показали большую перспективность новой методики [1, 2]. Для продолжения этих работ требовалась специализированная экспериментальная установка. Коллективом авторов была спроектирована, построена и введена в эксплуатацию первая и единственная в мире экспериментальная станция «Экстремаль-

ные состояния» по исследованию взрывных и ударно-волновых процессов с использованием СИ. Станция находится в ИЯФ СО РАН в бункере СИ ускорителя ВЭПП-3 на расстоянии 17 м от 3-х полюсного вигглера с полем 2 Тл из которого приходит излучение на станцию.

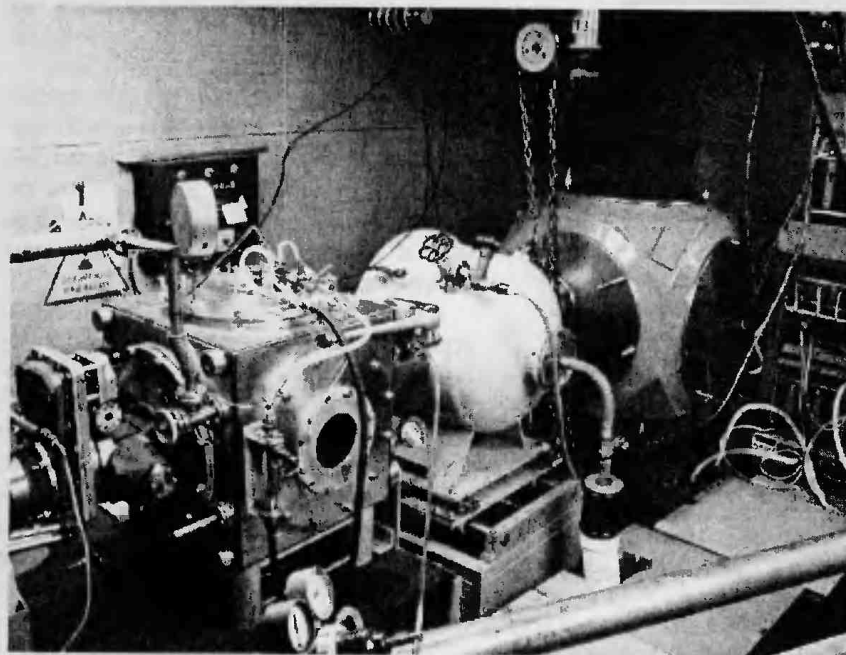


Рис. 1. Общий вид экспериментальной станции на канале СИ ВЭПП-3

Возможности установки во многом определяются спектральными характеристиками излучения, которые в свою очередь задаются параметрами ускорителя электронов (энергия и ток электронов, эмитанс пучка электронов, величина поля и число полюсов вигглера) [2]. Поэтому при разработке станции одновременно было начато конструирование 3-х полюсного вигглера с полем 5 Тл.

Основные узлы станции: (1) блок рентгеновской оптики, (2) взрывная камера, (3) блок регистрирующей аппаратуры.

Блок рентгеновской оптики представляет собой вакуумированный радиационно-защищённый объём, в котором находятся и могут быть установлены ослабляющие фильтры, прецизионные вертикальные и горизонтальные коллиматоры, рентгеновские зеркала, рентгеновские монохроматоры и многослойные зеркала, быстрые затворы, и датчики положения пучка.

Взрывная камера. Особенностью взрывной камеры является использование бериллиевых (толщиной всего 2 мм) входных и выходных окон для минимизации потерь СИ. Для сохранения герметичности окон после взрыва в камере установлены специально разработанные «глушители ударных волн». Камера может вакуумироваться и наполняться различными газами. Перед входным окном установлен электромагнитный затвор для предохранения исследуемого образца от интенсивного радиационного воздействия. Для облегчения настройки имеются радиационно-защищённые оптические каналы, а также телекамеры (установленные внутри взрывной камеры).

Блок регистрирующей аппаратуры представляет собой также радиационно-защищённый объём, в котором установлены прецизионные, дистанционно управляемые от ЭВМ устройства (линейные и угловые подвижки с точностью перемещения 1 мкм и 0.1° соответственно) для точного позиционирования детекторов и элементов вторичной оптики, различные рентгеновские детекторы (пропорциональные газовые, твердотельные, микростриповые, ионизационные камеры, 2-х координатные проволочные и твердотельные матричные). Блок также оснащен телевизионными каналами контроля положения внутренних элементов. В настоящее время используется однокоординатный газовый детектор DIMEX с линейным разрешением 100 мкм, готовятся к испытаниям твердотельные микростриповые GaAs и Si детекторы.

Возможности станции. В настоящее время мы развиваем пять методических направлений:

1. измерение распределения плотности (рентгеновская микротомография);
2. исследование динамики флуктуации электронной плотности (малоугловое рентгеновское рассеяние);
3. изменение атомной структуры вещества (рентгеновская дифрактометрия с высоким временным разрешением «дифракционное кино»);
4. исследование динамики изменения электронной структуры атомов (рентгеновская спектроскопия);
5. рентгеновская томография с наносекундным временным разрешением.

Статус станции. Ведутся работы по испытанию и тестированию Хе детектора DIMEX, в результате которой было получено пространственное разрешение 100 мкм и временное — 500 нс [3]. Полученные параметры детектора позволили начать проводить первые эксперименты по измерению проходящего излучения и сигналов мало-углового рентгеновского излучения (МУРР) в детонационных процессах (рис. 2). Испытываются твердотельные Si и GaAs микростриповые детекторы с пространственным разрешением 100 мкм. На GaAs детекторе были зарегистрированы волны сжатия и разрушения при ударно-волновом нагружении сплошной среды.

Перспективы. Наши основные планы связаны с дальнейшим развитием источников СИ — накопителей электронов с установленными на них вигглерами и ондуляторами. Планируемая установка на ВЭПП-3 вигглера с полем 5 Тл увеличит поток фотонов в диапазоне 30–40 кэВ на порядок. Переход на накопитель ВЭПП-4 и установка 21-полюсного вигглера увеличат поток ещё на порядок. А использование сверхпроводящего 101 полюсного вигглера с полем 7 Тл позволят получать потоки порядка 10^{12} фотон/мм² за время порядка одной наносекунды. Такие же потоки можно получить при использовании импульсных спиральных ондуляторов с полем порядка 20 Тл, установленных на компактных накопителях и линейных ускорителях. Такие огромные потоки дают возможность реализовать оригинальные рентгенооптические схемы, которые позволяют получить пикосекундное и даже фемтосекундное временное разрешение.

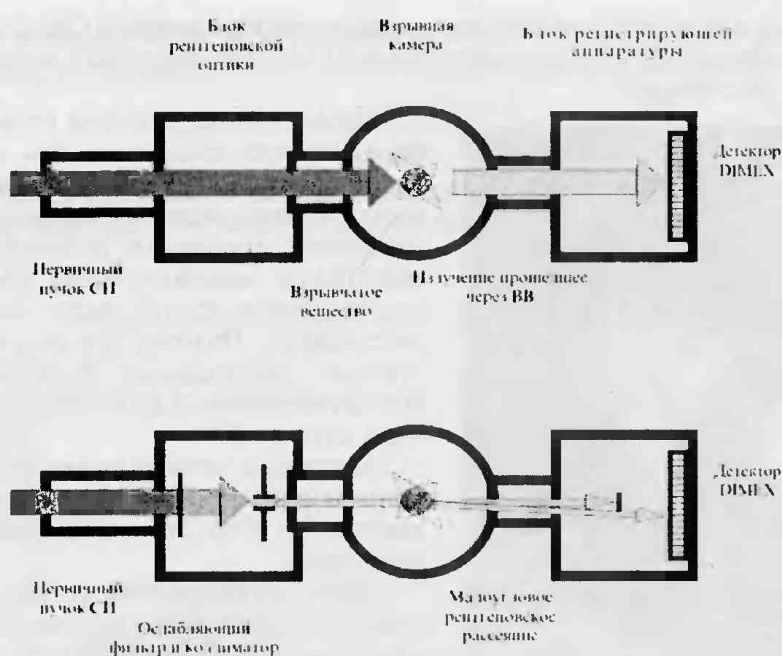


Рис. 2. Схема постановки взрывного эксперимента на канале СИ ВЭПП-3: сверху — регистрация поглощения, снизу — регистрация малоуглового рентгеновского рассеяния

1. Evdokov O.V., Fedotov M.G., Kulipanov G.N., Lyakhov N.Z., Luk'yanchikov L.A., Misnev S.I., Sharafutdinov M.R., Sheromov M.A., Ten K.A., Titov V.M., Tolochko B.P., Zubkov P.I. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. 2001. V.470. P.236–239.
2. Алешаев А.Н., Зубков П.И., Кулипанов Г.Н., Лукьянчиков Л.А., Ляхов Н.З., Мишнев С.И., Тен К.А., Титов В.М., Толочко Б.П., Федотов М.Г., Шеромов М.А. // ФГВ. 2001. Т.37. №5. С.104–113.
3. Aulchenko A., Evdokov O., Papushev P., Popomarev S., Shekhtman L., Ten K., Tolochko B., Zhogin I., Zhulanov V. // Budker INP 2002-55. P.3–24.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ВВ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тен К.А.^{1*}, Аульченко В.М.², Евдоков О.В.³, Жогин И.Л.³, Жуланов В.В.², Зубков П.И.¹, Кулипанов Г.Н.², Лукьянчиков Л.А.¹, Ляхов Н.З.³, Мамонтов Е.В.¹, Мержиевский Л.А.¹, Титов В.М.¹, Толочко Б.П.³, Шарафутдинов М.Р.³, Шеромов М.А.²

¹ИГиЛ СО РАН, Новосибирск, ²ИЯФ СО РАН, Новосибирск, ³ИХТТМ СО РАН, Новосибирск
*ten@hydro.nsc.ru

Помимо локального измерения плотности, одно из интересных направлений — использование синхротронного излучения (СИ) от ускорителей для восстановления объемного распределения плотности в детонационных волнах и разлетающихся продуктах взрыва [1].

В экспериментах детектор рентгеновского излучения регистрирует интегральную дозу прошедшего через исследуемый объект излучения. Эта доза зависит от распределения плотности вдоль луча и длины волны СИ. Поэтому для определения объемного распределения плотности необходимо большое количество (матрица) детекторов, расположенных в определенном порядке. Учитывая равномерную скорость движения детонационной волны и цикличность импульсов СИ, выбором подходящей схемы проведения экспериментов, для определения объемного распределения можно обойтись одномерным (линейным) детектором.

Постановка экспериментов. Эксперименты проводились на станции исследования взрывных процессов расположенной на «0» канале ускорителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН. Схема постановки экспериментов показана на рис. 1. Заряд ВВ (сплав тротил/гексоген 50/50) диаметром 12.5 и длиной 85 мм располагался вертикально. Пучок СИ размерами 1 мм высотой и 18 мм шириной формировался в диаметральной плоскости таким образом, что его середина находилась на оси заряда ВВ. Регистрация проходящего излучения велась детектором DIMEX [2], который располагался перпендикулярно оси заряда на расстоянии ~ 1 м. Запуск детектора осуществлялся замыканием контактного датчика, установленного на расстоянии 35 мм перед плоскостью пучка СИ. Размеры одного канала составляли 1 мм в высоту и 0.1 мм вдоль оси Y, общее число каналов составляло 256 шт.

За одну вспышку СИ (длительность импульса ~ 1 нс) детектор записывает все каналы (делает один кадр), фиксируя один срез вдоль диаметра (по оси Y). Поскольку фронт детонации движется по оси Z с постоянной скоростью 7.9 км/с, то через время оборота одного банча детектор записывает еще один кадр, формируя следующий срез прошедшего излучения вдоль оси Z. Детектор DIMEX позволяет записывать 32 кадра через 0.25–0.5 мкс. В наших экспериментах измерения проводились в основном через один оборот банча, т.е. через 0.5 мкс. За один взрывной эксперимент удавалось получить ~ 10 кадров разлетающихся продуктов детонации. Синхронизация запуска детектора в разных экспериментах позволяла получать сдвинутые кадры относительно фронта детонации. На рис. 2 приведен снимок двумерного распределения поглощения (массы вдоль луча СИ) при детонации заряда ТГ 50/50. На снимке фиксируется фронт волны и конус еще не разлетевшихся продуктов детонации.

Второй важный компонент установки — рентгеновские однокоординатные детекторы. Их быстродействие и пространственное разрешение определяют возможности эксперимента.

Третий компонент установки — рентгеновская оптика: рентгеновские фокусирующие зеркала, рентгеновские фокусирующие монохроматоры, фильтры и коллиматоры. Всё это определяет качество получаемых данных и следовательно достоверность результата.

Существующие режимы работы ускорителей нас не устраивают и мы разрабатываем новые режимы, адекватные задаче исследования детонационных и волновых процессов. Нами также разрабатываются новые методы извлечения структурной информации из данных рассеяния и дифракции, полученных при использовании полихроматического излучения.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ КБНЦ РАН

ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА – 2003

Физика экстремальных состояний вещества – 2003

Под редакцией Фортова В.Е., Ефремова В.П., Хищенко К.В., Султанова В.Г.,
Темрокова А.И., Канеля Г.И., Минцева В.Б., Савинцева А.П.

Сборник включает в себя работы по исследованиям в области физики высоких плотностей энергии и теплофизики экстремальных состояний. Рассматриваются различные методы генерации интенсивных импульсных потоков энергии, эффекты взаимодействия мощных ионных и электронных пучков, интенсивного лазерного, рентгеновского и СВЧ излучения с веществом, явление электрического взрыва проводников мощными импульсами тока, некоторые задачи физики ударных и детонационных волн, экспериментальные методы диагностики сверхбыстрых процессов, модели уравнений состояния вещества в экстремальных условиях, физика низкотемпературной плазмы, проблемы управляемого термоядерного синтеза и традиционной энергетики, а также различные технологические аспекты. Основная часть работ была представлена на XVIII Международной конференции «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество» (Эльбрус, 1–6 марта 2003 г.). Издание адресовано специалистам в области физико-технических проблем энергетики.

ИЗ ИСТОРИИ КОНФЕРЕНЦИЙ «УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА» И «ВОЗДЕЙСТВИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ НА ВЕЩЕСТВО»

К концу семидесятых годов прошлого века назрела необходимость в координации проводимых в Советском Союзе исследований по физике экстремальных состояний вещества. Отечественные ученые испытывали огромную потребность делиться друг с другом самыми новыми результатами своей работы в этой бурно развивающейся области физики, узнавать точку зрения коллег по интересующим вопросам. Первое Всесоюзное совещание по уравнениям состояния вещества в экстремальных условиях состоялось в октябре 1978 г. в гостинице «Чегет», расположенной в Баксанском ущелье вблизи высочайшей вершины Кавказа горы Эльбрус, по предложению известного советского физика Киржница Д.А., крупнейшего специалиста физики экстремальных состояний, ядерной физики, астрофизики и космологии. В числе участников этого совещания были выдающиеся ученые — герои Социалистического Труда Альтшулер Л.В., Бабаев Ю.Н. и Романов Ю.А., молодой доктор наук (будущий академик) Фортон В.Е. В дальнейшем это совещание проводилось на Эльбрусе каждый четный год, организация мероприятия была поручена Фортону В.Е.

После IX конференции «Уравнения состояния» (март 1994 г.) научные совещания по физике экстремальных состояний вещества обрели статус международных и стали проводиться ежегодно: тема заседаний каждого нечетного года, начиная с X Международной конференции (март 1995 г.), — «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество», — тем самым была продолжена традиция Всесоюзных совещаний по данной тематике, проводившихся ранее в «Чегете», на Медео и Чимбулаке под Алма-Атой, во Владивостоке и в Черноголовке.

Следует отметить, что за прошедшие четверть века регулярность проведения этих конференций ни разу не была нарушена (даже в трудные для российской науки первые годы после распада СССР). В этом заслуга сопредседателей — академика Фортон В.Е. и Темрокова А.И., а также организаций-спонсоров — Российского фонда фундаментальных исследований (Москва), Института теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН (Москва), Института проблем химической физики РАН (Черноголовка), Кабардино-Балкарского государственного университета (Нальчик) и Научно-исследовательского института прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра РАН (Нальчик).

Залог успеха конференции среди широкого круга специалистов современной физики экстремальных состояний не только в актуальности тематики, но и в уникальном регламенте работы заседаний, сочетающихся с экстремальными видами активного отдыха (горный туризм, альпинизм, горные лыжи). Важной традицией оргкомитета стало оказание финансовой поддержки участия в конференции молодых ученых, аспирантов и студентов.

Редколлегия

Сдано в набор 12.02.03. Подписано в печать 13.02.03. Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Ариал». Усл. п. л. 22,5. Заказ 54. Тираж 170.

Отпечатано в типографии ИПХФ РАН. Изд. лиц. № 03894 от 30.01.2001 г.

142432, г. Черноголовка, Московская обл., Институтский пр-т, 18