

- — вектор;
 0 — поступательная скорость частицы 1 после столкновения с частицей 2.

Заключение

Представленная в работе модель, учитывающая турбулентный и псевдотурбулентный механизмы переноса импульса частиц, позволяет корректно описать поведение двухфазного потока в широком диапазоне изменений параметров χ , δ , ρ_p , R и $u_{g,m}$. Результаты численных исследований могут быть полезны при расчетах технических устройств, предназначенных для пневмотранспорта сыпучих материалов.

Литература

1. Ding J., Gidaspow D. A. Bubbling fluidization model using kinetic theory of granular flow//J. AIChE. 1990. V. 36. № 4. P. 523—538.
2. Bolio E. J., Yasuna J. A. and Sinclair J. L. Dilute turbulent gas-solid flow in risers with particle-particle interactions//J. AIChE. 1995. V. 41. № 6. P. 1375—1388.
3. Зайчик Л. И. Кинетическая модель переноса частиц в турбулентных потоках с учетом соударений//ИФЖ. 1992. Т. 63. № 1. С. 44—49.
4. Шрайбер А. А., Гавин Л. Б., Наумов В. А., Яценко В. П. Турбулентные течения газозвеси. — Киев: Наукова думка, 1987.
5. Рохман Б. Б. Об уравнениях переноса корреляционных моментов пульсаций скоростей дисперсной фазы на стабилизированном участке осесимметричного двухфазного потока. Уравнения для вторых моментов. Алгебраические соотношения для третьих корреляций//Прикладная физика. 2006. № 2. С. 11—18 (I).
6. Рохман Б. Б., Шрайбер А. А. Математическое моделирование аэродинамики и физико-химических процессов в надслоевом пространстве топки с циркулирующим кипящим слоем//ИФЖ. 1994. Т. 66. № 2. С. 159—167 (II).
7. Бабуха Г. Л., Шрайбер А. А. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках. — Киев: Наукова думка, 1972.
8. Tsuji Y., Morikawa Y., Shiomi H. LDV measurements of an air-solid two-phase flow in a vertical pipe//Fluid Mech. 1984. V. 139. P. 417—434.
9. Лаатс М. К., Мульги А. С. Экспериментальное исследование кинематической картины мелкодисперсного трубного течения//Турбулентные двухфазные течения. — Таллин, 1979. С. 32—46.
10. Мульги А. С. Экспериментальное исследование течения газа с однородными сферическими частицами в трубе//Там же. С. 47—59.
11. Zaichik L. I., Pershukov V. A., Kozelev M. V., Vinberg A. A. Modeling of Dynamics, Heat Transfer, and Combustion in Two-Phase Turbulent Flows. Isothermal Flow//Experimental Thermal and Fluid Science. 1997. V. 15. P. 291—310 (I).

Статья поступила в редакцию 14 августа 2007 г.

Research of the kinematical picture for a gas-dispersed turbulent flow taking into account impacts of particles themselves and with a wall of an axisymmetric channel

B. B. Rokhman

Institute for Coal Energotechnology, Kiev, Ukraine

The stationary isothermal model of aerodynamics for a biphasic stream in the axisymmetric channel has been constructed taking into account the turbulent and pseudo-turbulent mechanisms of carry of a firm phase pulse. The closed description of movement of a disperse phase at a level of the equations for the second moments pulsating speeds of particles is received. Comparison of results of calculation with experimental data is resulted.

УДК 620.97:669:621:794

Применение метода спектрометрии ядерного обратного рассеяния для контроля изменения состава материалов

О. В. Беспалова, А. М. Борисов, В. Г. Востриков,
 В. С. Куликаускас, Е. А. Романовский, М. В. Серков

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына,
 МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Продемонстрированы возможности спектрометрии ядерного обратного рассеяния протонов с энергией 5—8 МэВ для экспертизы и контроля изменения состава различных

материалов на примере спектров лекарственных средств, цемента, ряда бытовых химических средств, а также материалов из изотопов элементов. Полученные результаты свидетельствуют, что спектрометрия ядерного обратного рассеяния позволяет делать экспрессное экспертное заключение о соответствии (или несоответствии) исследуемого образца эталонному.

Введение

Элементный анализ различных материалов, в состав которых входят такие легкие элементы, как В, С, N, O, Mg, Si, Ca, представляет собой актуальную задачу современного материаловедения. Для исследования состава материалов в настоящее время успешно применяются методы резерфордовского обратного рассеяния (РОР) заряженных частиц [1] и ядерного обратного рассеяния (ЯОР) протонов с энергией 5—8 МэВ [2—4] ядрами атомов материалов. Эти методы основаны на использовании закономерностей в рассеянии налетающих протонов ядрами атомов мишени.

Если энергия протонов E_0 меньше энергии кулоновского барьера E_B , то протоны рассеиваются упруго в кулоновском поле ядра с резерфордовским сечением рассеяния. Однако чувствительность спектрометрии резерфордовского обратного рассеяния протонов к легким элементам недостаточна для их определения в материале, в состав которого входят более тяжелые элементы. Это обусловлено квадратичной зависимостью сечения резерфордовского рассеяния от зарядового числа элемента.

Если $E_0 > E_B$, то протоны могут рассеиваться не только упруго, но и неупруго, а также инициировать ядерные реакции с вылетом заряженных частиц. При такой энергии зависимость сечения упругого рассеяния от угла рассеяния, энергии, массового числа и заряда ядра атома отличается от резерфордовской и носит сугубо индивидуальный характер для каждого ядра. Метод в этом случае называется "методом ядерного обратного рассеяния".

Спектрометрия ядерного обратного (на углы больше 90°) рассеяния протонов обладает повышенной чувствительностью к легким элементам за счет широких резонансов функций возбуждения упругого рассеяния протонов с энергией 5—8 МэВ на этих ядрах. Дифференциальные сечения обратного рассеяния протонов на С, N и O в этой области энергии составляют 130—200 мб/стр, что почти в 100 раз больше соответствующих значений сечений резерфордовского рассеяния для элементов средних атомных номеров периодической таблицы. Глубина анализа достигает несколько десятков микрометров.

Дополнительным преимуществом метода ЯОР (как и РОР) является неразрушающий образец ха-

рактер анализа, что дает возможность проводить последующий дополнительный анализ исследуемого образца другими методами.

Такие характеристики обеспечивают высокую эффективность метода для решения многих задач современного материаловедения, возникающих при разработке технологий нанесения защитных покрытий, модификации поверхностного слоя металлов сплавов и др. [2—4].

Для материалов с различной комбинацией легких элементов соответствующие спектры ЯОР могут служить своеобразными "паспортами". Основываясь на таких свойствах спектрометрии ЯОР, можно составить каталоги спектров ЯОР для эталонных образцов материалов и использовать этот метод для контроля изменения состава материала в процессе его технологической обработки, для предварительной отбраковки образцов с неэталонным составом, например фальсифицированных. В настоящей работе рассмотрены возможности спектрометрии ЯОР при экспертизе образцов на примере спектров ЯОР лекарственных средств (ЛС), цемента, ряда бытовых химических средств (стиральных порошков), а также материалов из изотопов элементов.

Эксперимент

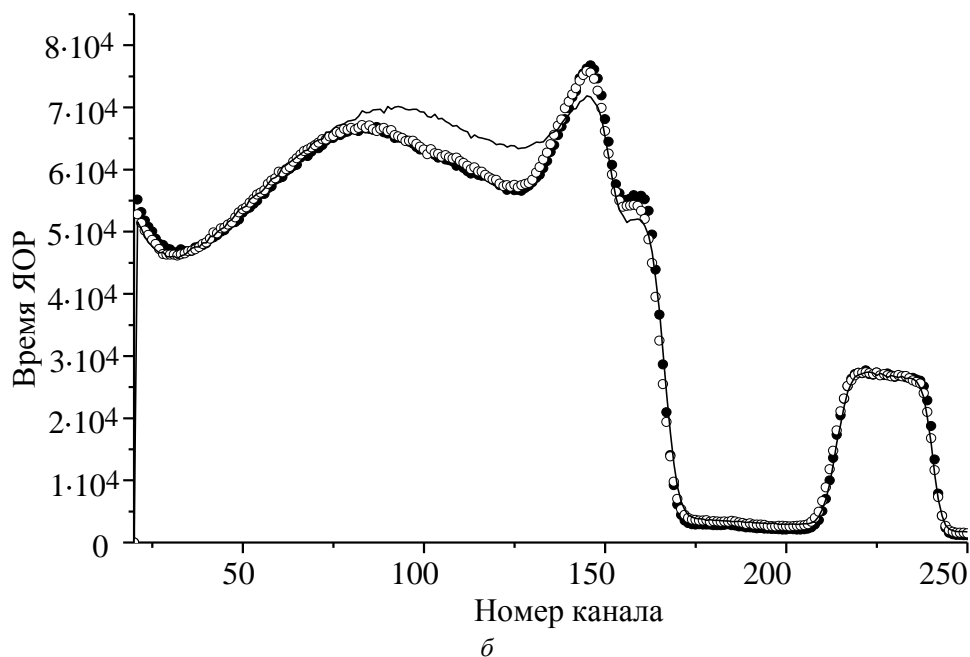
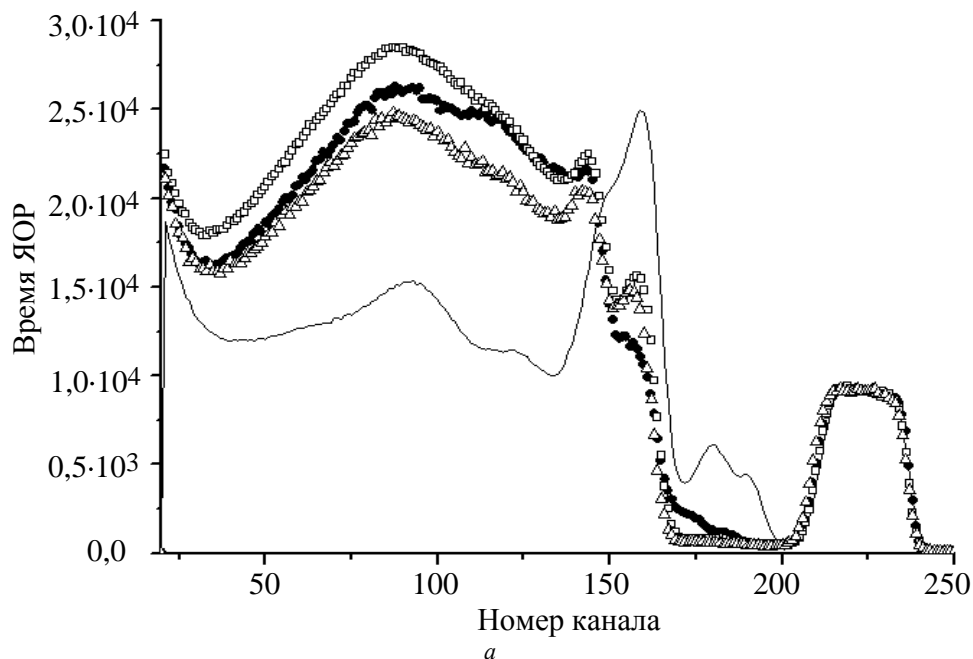
Измерения спектров ЯОР проводили на установке, построенной на базе 120-сантиметрового циклотрона НИИЯФ МГУ. Коллимированный пучок протонов циклотрона энергии 7,8 МэВ направляли по нормали к поверхности исследуемых мишеней. Обратнорассеянные на угол 160° частицы регистрировали с помощью поверхностно-барьерного полупроводникового детектора, импульсы которого анализировались спектрометрическим накопителем АНСИ, управляемым от компьютера. Для мониторинга пучка (определения произведения числа падающих на мишень протонов и телесного угла детектора) и контроля энергии налетающих протонов E_0 в процессе измерений использовали полутолстую танталовую фольгу толщиной 10 мкм, сечение рассеяния на которой при $E_0 = 7—8$ МэВ является резерфордовским. Непосредственно перед исследуемой мишенью устанавливали фольгу, которая служила дополнительным удерживающим элементом для мишеней из сыпучих материалов.

Результаты

Полученные спектры ЯОР ЛС (анальгин, аспирин, лизобакт и берликорт) приведены на рисунке, *а, б* в сравнении со спектрами ЯОР мела и крахмала.

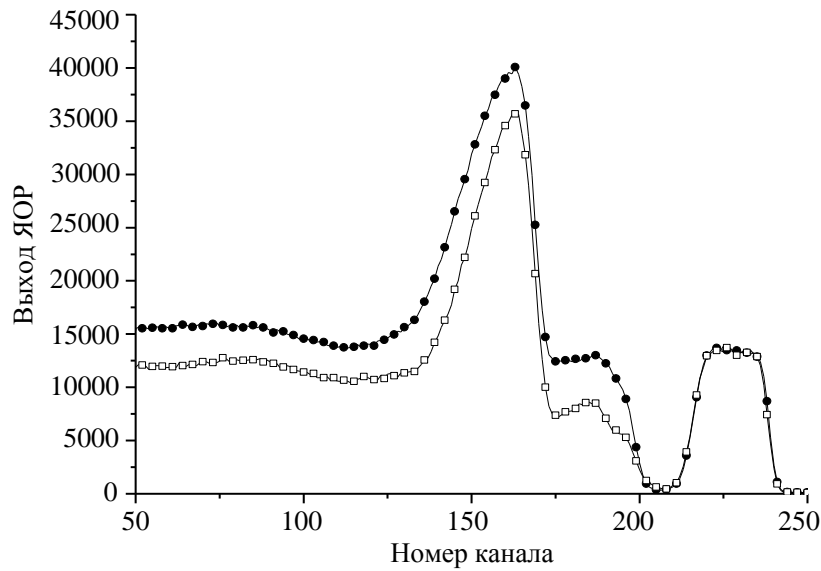
Исследованные ЛС представляют собой смесь активных и вспомогательных веществ, в сложном химическом составе которых присутствуют легкие элементы С, О и N. Спектры ЯОР этих ЛС, а также крахмала, являющегося органическим соединени-

ем, имеют общие черты — широкий пик в левой части спектра (в области каналов 50—120), соответствующий рассеянию протонов на углероде, и два более узких пика в правой части спектра (в области каналов 130—150 и 150—170), в которые вносит вклад рассеяние на ядрах азота и кислорода. Однако детальные структуры этих пиков (в частности, их высота) в спектрах различных ЛС отличаются одна от другой. В области каналов 200—250 расположен спектр от танталовой фольги.

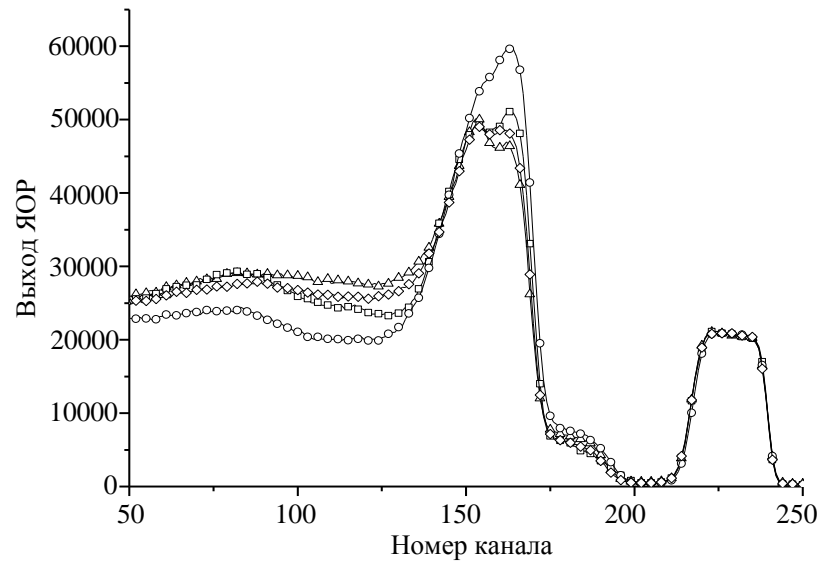


Спектры ЯОР протонов, рассеянных на:

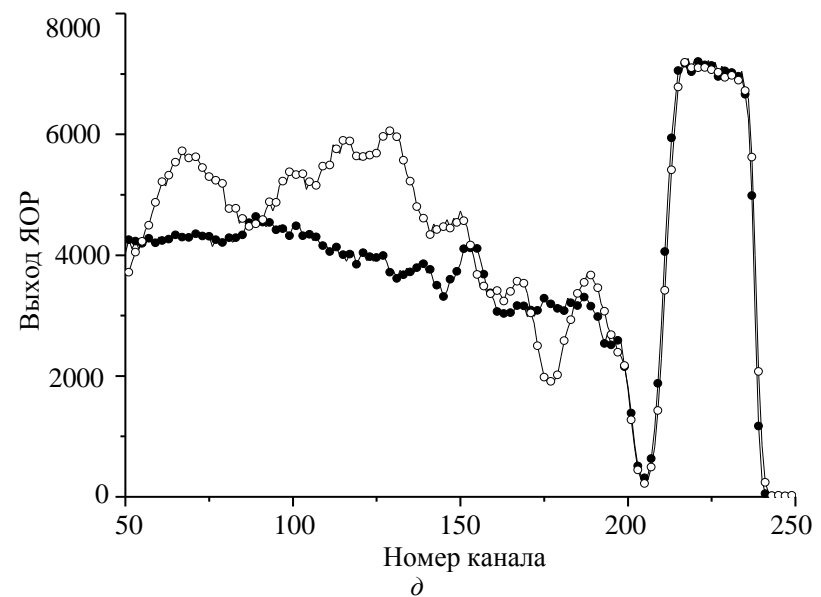
- а* — лекарственных средствах: ● — анальгин, □ — аспирин, Δ — лизобакт, — — мишени из спрессованного мела;
б — двух образцах лекарственного средства: ●, ○ — берликорт, — — мишени из спрессованного крахмала



6



2



8

Окончание рисунка. Спектры ЯОР протонов, рассеянных на:

6 — образцах: ● — цемента, □ — цементно-песочной смеси; 2 — образцах стиральных порошков марок: Δ — "Ariel",
 ◇ — "Persil", □ — "Baby"; ○ — "Пемос детский"; 8 — образцах, изготовленных из изотопов: ○ — ⁵⁸Ni, ● — ⁶⁰Ni

Спектры двух разных таблеток сертифицированного ЛС берликорт совпадают (см. рисунок, б). Этот результат служит подтверждением возможности установления соответствия исследуемого образца ЛС эталонному методом спектрометрии ЯОР. Спектры ЛС берликорт, анальгин, аспирин, лизобакт отличаются один от другого, что подтверждает возможность установления отличия спектров ЯОР протонов от различных образцов ЛС. Спектры исследуемых образцов ЛС отличаются от спектра крахмала. Последний был выбран авторами статьи в качестве примера органического соединения, которое может служить как вспомогательной составляющей ЛС, так и основой для производства фальсифицированных средств. Этот результат свидетельствует о том, что несмотря на возможно малые концентрации активных составляющих ЛС, общий (активные + вспомогательные компоненты) спектр ЛС отличается от спектра только вспомогательных компонент. Спектры исследуемых ЛС сильно отличаются также от спектра мела (см. рисунок, а), выбранного в качестве примера неорганического соединения, которое может служить основой для грубой подделки лекарственного средства.

Были исследованы также чувствительности метода ЯОР к изменению состава цемента при добавлении к нему измельченного песка. Как известно, сырьем для производства цемента служит доломит — двойная магниевокальциевая соль угольной кислоты ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), а в состав песка (кремнезем) входят кремний и кислород ($(\text{SiO}_2)_n$). На рисунке, в представлены спектры ЯОР цемента и цементно-песочной смеси. В спектрах доминирует пик в области каналов от 130 до 175. Добавление песка приводит к существенному понижению спектра.

В состав стиральных порошков входят поверхностно-активные вещества (ПАВ): синтетические моющие средства или мыло (смесь натриевых солей жирных карбоновых кислот) и различные добавки: отбеливатели; добавки; уменьшающие жесткость воды; ароматизаторы; энзимы и т. д. Различные стиральные порошки отличаются как по ПАВ (в составе детских стиральных порошков содержится, как правило, мыло), так и по количеству и концентрации добавок.

На рисунке, г представлены спектры ЯОР от стиральных порошков различных торговых марок: "Ariel", "Persil", "Baby", "Пемос детский". Спектры отличаются как по высоте, так и в деталях, в частности, пика в области каналов 130—175.

Метод ЯОР может быть применен и при исследовании материалов, изготовленных из изотопов различных элементов. Самым общим и достаточно точным методом для решения такой задачи явля-

ется масс-спектроскопический метод. Тем не менее хорошо известные особенности рассеяния протонов энергии 5—7 МэВ изотопами ядер атомов среднего атомного веса на большие углы (изотопический эффект [5]) позволяют использовать для этого и метод ЯОР. В качестве иллюстрации возможностей метода на рисунке, д приводятся спектры ЯОР образцов изотопов ^{58}Ni и ^{60}Ni . Спектры существенно отличаются друг от друга во всем диапазоне каналов, соответствующем исследуемой мишени (вплоть до 200-го канала).

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что, измеряя спектр ЯОР средства, подвергаемого экспертизе, и сравнивая его со спектром эталонного образца ("паспортом"), можно по одному виду спектра без его детального анализа сделать заключение об изменении состава материала.

Так, анализируя спектры ЯОР ЛС, можно выделить три случая: полное совпадение двух спектров; отличие двух спектров в деталях; существенное отличие двух спектров. В первом случае можно говорить о соответствии ЛС сертифицированному. Второй и третий случаи соответствуют фальсификации ЛС, а третий — грубой фальсификации.

Спектры ЯОР позволяют контролировать изменение состава материала, например выявлять добавление песка в цемент. В случае однотипных материалов, таких как стиральные порошки, каждому из представителей типа можно поставить в соответствие индивидуальный паспорт, детали которого будут отличать его как от других представителей этого типа материалов, так и от возможных фальсификаций. Чувствительность метода ЯОР к изотопическому эффекту может служить основой для разработки новых методик работы с изотопными материалами.

Во всех рассмотренных случаях востребованным является неразрушающий образец характер спектрометрии ЯОР, позволяющий проводить дальнейший анализ средства, подвергаемого экспертизе, другими средствами, например рентгенометрическими и химическими.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для ведущих научных школ (грант НШ № 5365.2006.2).

Литература

1. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. — М.: Мир, 1989. — 344 с.

2. Романовский Е. А. и др.//Прикладная физика. 2006. № 4. С. 85.
3. Борисов А. М. и др.//Физика и химия обработки материалов. 2007. № 1. С. 73.

4. Романовский Е. А. и др.//Наука в России. 1997. №.1. С. 4.
5. Пасечник М. В. Вопросы нейтронной физики средних энергий. — Киев.: Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1962. — 335 с.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2007 г.

Application of nuclear backscattering spectrometry for revision control of material composition

*O. V. Bepalova, A. M. Borisov, V. G. Vostrikov,
V. S. Kulikauskas, E. A. Romanovsky, M. V. Serkov*
Scobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The possibilities of backscattering spectrometry of 5—8 MeV protons for expert examination and revision control of material composition are demonstrated by the example of spectra of medicinal agents, cement, a number of domestic chemicals, and materials made of isotopes. Obtained results show that backscattering spectrometry allow to draw express expert conclusion concerning the conformity (or discrepancy) of specimen under investigation with the standard.

УДК 538.639

Моделирование нелинейной диффузии сильного магнитного поля

В. В. Прут
Российский научный центр "Курчатовский институт",
Институт ядерного синтеза, Москва, Россия

Представлена физическая модель нелинейной диффузии мегагауссного магнитного поля в металлический проводник. Приведены результаты численного решения этой задачи при токах до 1 ГА. Показано, что токи, превышающие несколько десятков мегаампер, могут приводить к значительному увеличению максимально достижимых магнитных полей и к трансформации удержания вещества в магнитном поле. Обсуждается механизм этого явления. Построена вычисленная зависимость максимального давления гигабарного диапазона от тока.

Введение

Физические процессы, происходящие при электрическом взрыве проводников, активно рассматриваются при создании мегагауссных магнитных полей ([1], а также аналогичные конференции MEGAGAUSS), в термоядерных исследованиях [2], в технологических применениях, в частности, при создании искусственных алмазов [3], при исследовании физических свойств металлов [1, 4]. Одним из наиболее интересных применений этих процессов могут быть создание мегабарных давлений и исследование физических свойств ве-

ществ (уравнения состояния, электропроводности, фазовых переходов). Такие работы уже проводились [1, 5]. Внимание к этим исследованиям обусловлено тем, что максимальные давления, которые могут быть получены при изотермическом сжатии в алмазных наковальнях, ограничены прочностью материалов $P \sim 5$ Мбар [6], а максимальные температуры — графитизацией алмаза. Современные ударно-волновые методы позволяют при использовании ядерных взрывов достичь давлений $P \sim 4$ Гбар [7, 8], но при этом давление в основном тепловое из-за высоких температур, относительная плотность всего лишь $\rho/\rho_0 < \sim 10$.