

Бұл процестер ПКМ матрицасының қайта құрылуына байланысты орын алатындығымен дәлелденеді.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Кербер М.Л., Виноградова В.М., Головкин Г.С. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. - СПб.: Профессия. 2008.-560 с.
- [2] Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. - М.-Л,1966.
- [3] Оптический микроскоп Leica DM 6000 M - /<http://www.nnlot.kz/RU/inst2.php>.
- [4] Лущейкин Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров - М.: Химия. 1979.- 160 с.
- [5] Электрические свойства полимеров / Под ред. Сажина Б.И. - Л.: Химия. 1986.- 226 с.

Есалина А.М., Суенишбек С.Б., Мурадов А.Д.

**Влияние концентрации наполнителя из нанодисперсного шунгита на оптические и физические свойства полимерного композитного материала**

**Резюме.** Поверхностные топографические изображения полимерных пленок наполненных шунгитом, морфология которых соответствует кластерной структуре, характеризуется шероховатым рельефом. Применяя четырех зондовый метод при комнатной температуре и посредством анализа вольт-амперной характеристики материала, исследовалось влияние концентрации наполнителя на электрические свойства полимерных композитных пленок. Анализ вольт-амперной характеристики пленок показал, что сила тока чистой полиимидной пленки меняется пропорционально напряжению. С увеличением концентрации наполнителя, значение тока изменяется экспоненциально. Такие изменения характеристик связано с дефектами, возникающими в полимерной матрице из-за размеров фракции наполнителя.

**Ключевые слова:** композит, полиимид, шунгит, оптические и электрические свойства.

Yessalina A.M., Suyenishbek S.B., Muradov A.D.

**Influences of filler concentration from nanodispersed shungite on optical and physical properties of polymer composite material**

**Summary** Surface topographic images of polymeric films filled with shungite, whose morphology corresponds to a cluster structure is characterized by a rough terrain. Using the four-probe method at room temperature, an analysis of the current-voltage characteristic was used to investigate the influence of the filler concentration on the electrical properties of polymer composite films.

An analysis of the current-voltage characteristics of the films showed that the net current of the film of the pure polyimide increases exponentially. With increasing filler concentration, the current value changes linearly. Such changes in characteristics are due to defects occurring in the polymer matrix due to the size of the filler fraction.

**Keywords:** composites, polyimide, shungite, optical and electrical properties.

УДК 533.9:004.9

**С.К. Коданова, М.К. Исанова, Э.С. Слямова**

(Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики,

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,

Алматы, Республика Казахстан,

\*E-mail: moldir.issanova@gmail.com)

**РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПО 2D И 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОРМОЖЕНИЯ ИОНОВ В ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЕ**

**Аннотация.** В рамках данной работы разработан программный комплекс по расчету, анализу и визуализации процессов торможения плотной плазмы на основе кулоновского логарифма с использованием эффективного потенциала взаимодействия частиц. Разработанная инструментальная среда является удобным и надежным средством для исследования свойств плотной плазмы инерционного термоядерного синтеза. Разработанный программный комплекс имеют как теоретическое, так и прикладное значение для исследования и моделирования свойств неидеальной плотной плазмы. Также, в программу включена настройка, которая использует операторы сдвига, поворота, полноэкранного режима, масштабирования преобразовывает изображения.

**Ключевые слова:** плотная плазма, инерционный термоядерный синтез, программный комплекс, компьютерное моделирование, визуализация.

В последние годы значительное внимание исследователей привлекает изучение состояния вещества при высоких давлениях и температурах. Особое место среди работ посвященных различным аспектам данной проблемы занимают исследования в области инерционного термоядерного синтеза на пучках тяжелых ионов. Причина такого особого интереса заключается в том, что при сокращении запасов природного топлива термоядерный синтез становится одним из возможных вариантов решения энергетических проблем [1-5]. Проводятся большое количество теоретических и экспериментальных работ по изучению физических процессов, определяющих конструкцию термоядерной мишени и необходимых параметров будущего драйвера. Расчет параметров термоядерной мишени тяжелоионного инерциального синтеза требует адекватного количественного описания процессов взаимодействия тяжелоионных пучков с плотной плазмой в широком диапазоне параметров. Поэтому, чтобы знать свойства плотной плазмы в разных условиях, наиболее привлекательным является компьютерное моделирование, которое дает ответ на многие важные вопросы, необходимых для использования плотной плазмы ИТС при решениях энергетических проблем [6-12]. В этой связи появились проблемы, во-первых, интенсивного исследования физических процессов, которые происходят в системе, с целью разработки на их основе технологии применения плотной плазмы, во-вторых, сделать доступной информацию о свойствах плазмы пользователем.

Основные преимущества и новизна применения инструментальной среды являются визуализированное представление результатов в ходе компьютерного моделирования. Технологии двумерной и трехмерной визуализации в современной науке и технике являются неотъемлемым и весьма важным элементом обработки сложной информации о пространственном строении объектов. Технологии уровня OpenGL или Direct3D позволяют не только наглядно представлять пространственный объект, но и преобразовывать изображение, используя операторы сдвига, поворота, изменения масштаба и т.п. На сегодняшний день разработано множество алгоритмов и методов визуализации (растеризация, рейкастинг, трассировка лучей, трассировка путей), которые обычно совмещаются в передовом программном обеспечении, чтобы получить достаточно качественное и фотorealистичное изображение при оптимальных затратах вычислительных ресурсов [13].

Визуализация процесса торможения ионов в плотной плазме проходит в сборочном модуле "PLCODE" с помощью технологий OpenGL, предоставляемый библиотекой Tao Framework.

При моделировании процессов торможения тяжелых ионов в плотной плазме, получаемые результаты часто представляют из себя данные в виде таблицы и возникает задача построения и визуализации, а также анализ получаемых графиков. Графики могут строится как в 2D так и в 3D пространстве. Для этих целей были написаны модули "PLOTT3DVIEWER" и "PLOT2DVIEWER". Эти модули являются библиотеками классов (namespace) написанными на языке программирования C# и реализованные в Visual Studio 2012. Модули "PLOTT3DVIEWER" и "PLOT2DVIEWER" предназначены для визуализации и анализа 3D и 2D графиков.

Модуль "PLOTT3DVIEWER" содержит в себе класс "PLOTTER3D" наследованный от класса Windows.Form и представляет собой диалоговое окно для взаимодействия с пользователем. Класс "PLOT3D" и класс "PLOT3DBOARDERBOX" наследуемый от "GBOX3f" (которое находится в модуле "GEOTOOLS") также расположены в данном модуле. Таким образом, модуль "PLOTT3DVIEWER" состоит из трех классов:

```
...
namespace PLOTT3DVIEWER
{
    public partial class PLOTTER3D : Form{ .... }
    public class PLOT3D{ .... }
    public class PLOT3DBOARDERBOX : GEOTOOLS.GBOX3f{ .... }
}
```

Класс "PLOT3DBOARDERBOX" инициализирует и отображает на экране рисование, границы и тексты графика.

Класс "PLOT3D" инициализирует, хранит, отображает на экран рисование, а также манипулирует данными графика.

Класс "PLOTTER3D" устанавливает связь между вышеуказанными двумя классами и пользователем. Это диалоговое окно включает в себя окно визуализации графиков в OpenGL (предоставляемое библиотекой Tao Framework), окна меню (Menu Strip), окно для отображения данных (Data Grid View), трекер (Track Bar), окно для отображения общей информации (Text Box), а также окно выбора (Check Box). Ниже на рисунке 1 показан интерфейс окна, реализуемое классом "PLOTTER3D".

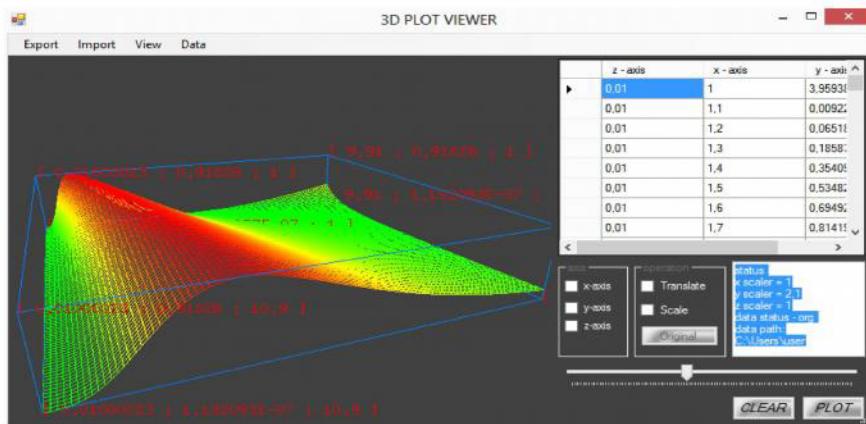


Рис. 1. Инструментальная среда 3D визуализации торможения ионов в плотной плазме "PLOT3DVIEWER"

Данное окно позволяет пользователю импортировать и экспортировать данные как из .txt файла, так и из баз данных. Также пользователь может задавать цвета, как окна визуализации, так и окна диалога, а также менять шрифты текстов в окне визуализации. Окно визуализации поддерживает управление мышью (поворот вокруг оси приближение и отдаление). Для манипуляции данными предусмотрено сжатие осей на коэффициент и построение логарифмической шкалы. На рисунке 2 изображен график тех же данных в логарифмической шкале с умножением на коэффициент. Для просмотра общей информации в правом нижнем углу необходимо прописать "info:" для очищение "clear".

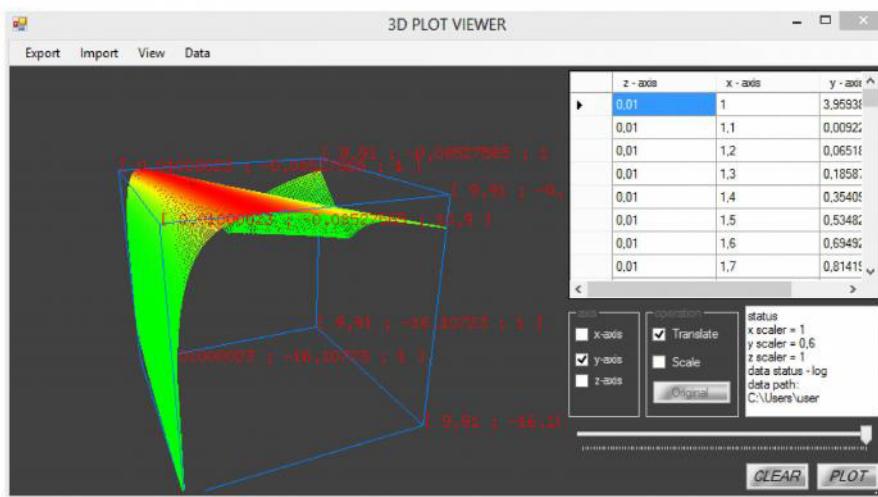


Рис. 2. Инструментальная среда 3D визуализации торможения ионов в плотной плазме "PLOT3DVIEWER" в логарифмической шкале

Также предусмотрено сохранение визуализируемого графика в качестве фотографий, иными словами операция screenshot в формате png. Данное диалоговое окно присоединено к главному диалоговому окну, и при желании пользователя запускается в одном из двух режимов. Первый режим

запуска полностью блокирует главное диалоговое окно. Второй режим запуска предусматривает работу данного окна в собственном UI нити, что позволяет работать обоим окнам одновременно.

Второй режим работы окна достигается нижеуказанным кодом:

```
...
var th = new Thread ( () =>
{
    var form = new PLOTTER3D();
    form.FormClosing += (s, ex) => Application.ExitThread();
    form.ShowDialog();
    Application.Run();
} );
th.SetApartmentState(ApartmentState.STA);
th.Start();
...
```

Данный интерфейс не является конечным вариантом реализации, так как будут вноситься изменения при подключении базы данных в будущем. Особенностью данной инструментальной среды, реализуемой классом "PLOTTER3D" в отличие от других редакторов 3D графиков (к примеру, "Origin Lab") является подключение к модулю "SOLUTIONS", который содержит результаты моделирования.

Класс "PLOTTER2D" разработан по аналогии с классом "PLOTTER3D". Существенное отличие заключено в том, что класс "PLOTTER2D" для визуализации графиков использует библиотеку для работы с кривыми ZedGraph.dll, а в классе "PLOTTER3D" для работы с поверхностями написан свой класс и использует OPENGL. Также в классе "PLOTTER2D" можно интерполировать кривые (методом сплайн интерполяций). На рисунке 3 показан интерфейс, реализуемый классом "PLOTTER2D".

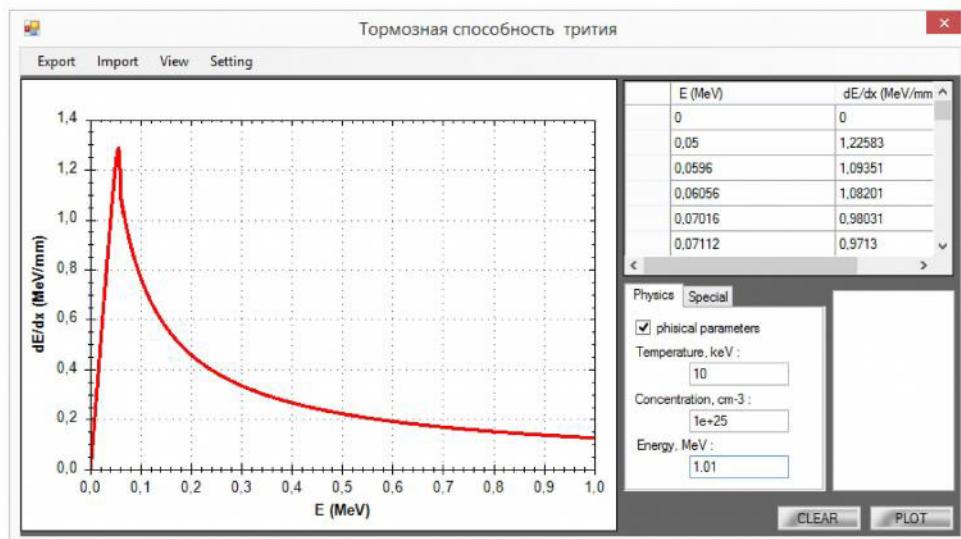


Рис. 3. Инструментальная среда 2D визуализации тормозной способности трития в плотной плазме с помощью "PLOT2DVIEWER"

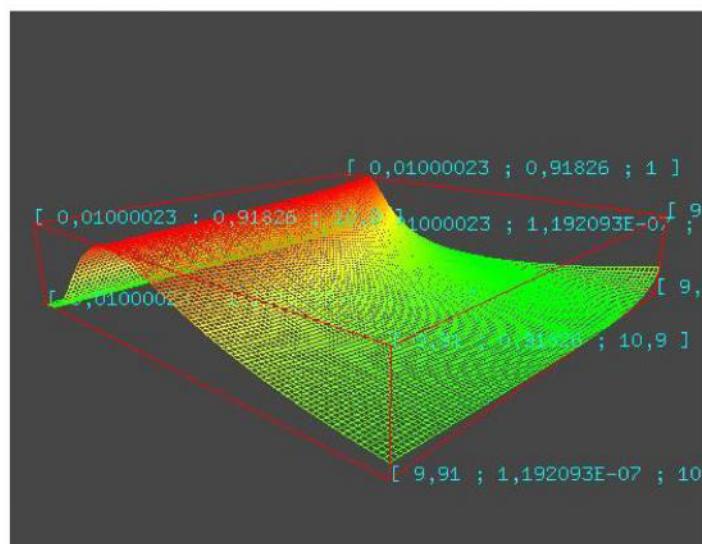
#### *Модуль визуализаций и геометрий "GEOTOOLS"*

Данный модуль представляет собой библиотеку классов (namespace). Классы, содержащиеся в этом модуле предназначены для визуализации геометрических объектов, а также для манипуляции этими объектами. Модуль написан на языке программирования C#, а его классы для визуализации используют библиотеку OPENGL. На данном этапе модуль содержит два статичных класса, три перечисления (enum), два абстрактных класса и 14 реализованных классов. Ниже перечислены названия данных классов:

```
...
namespace GEOTOOLS
{
    public enum COLORTITLE{...}
    public class GCOLOR{...}
    public enum GLGRADIENTTITLE{...}
    public static class GLGRADIENT{...}
    public class GPOINT2f{...}
    public class GPOINT3f{...}
    public class GVECTOR2f{...}
    public class GVECTOR3f{...}
    public class GDISTANCE2f{...}
    public class GDISTANCE3f{...}
    public class GTEXT2f{...}
    public class GTEXT3f{...}
    public abstract class GOBJECT2f{...}
    public abstract class GOBJECT3f{...}
    public class GBOX2f : GOBJECT2f{...}
    public class GBOX3f : GOBJECT3f{...}
    public class GSPHERE3f : GOBJECT3f{...}
    public class GOBJECTFROM3DSMAX3f : GOBJECT3f{...}
    public class CAMERA3f{...}
    public enum GFONTITLE{...}
    public class GFONT{...}
}
```

...

Все классы практически используются для визуализации процессов, происходящих в расчетном модуле "SOLUTIONS". Кратко перечислем предназначение этих классов. Класс GCOLOR предназначен для установки цвета и альфа прозрачности визуализируемых объектов. Этот класс работает во взаимодействии с перечислением COLORTITLE, а также с классом System.Drawing.Color. Статичный класс GLGRADIENT позволяет установить цвет, переданному массиву данных так, чтобы переходы были плавными. На рисунке 4 продемонстрирован пример использования методов данного класса:



**Рис. 4.** График торможения тяжелого иона в плазме визуализированный с помощью модуля "PLOT3DVIEWER", который использует для задания цвета графика статичный класс GLGRADIENT , для отображения текста класс GTEXT3f и для обрисовки границы графика класс GBOX3f из библиотеки классов GEOTOOLS.

Классы GPOINT2f и GPOINT3f представляют собой геометрические точки в плоскости и в пространстве. Данные классы активно используются как при визуализации, так и при вычислениях. Классы GVECTOR2f и GVECTOR3f представляют собой геометрический объект-вектор. Имеют несколько перегруженных операторов и часто используются в модуле физики "PHYTOOLS" и в расчетном модуле "SOLUTIONS". Например, для векторного умножения двух векторов достаточно прописать: *GVECTOR3f Result = A%&B;* где *A* и *B* являются также объектами класса *GVECTOR3f*. Классы GDISTANCE2f и GDISTANCE3f представляют собой отрезки в плоскости и в пространстве, соответственно. Они также имеют несколько перегруженных операторов и также как и классы GVECTOR2f и GVECTOR3f в расчетном модуле "SOLUTIONS" и в модуле "PHYTOOLS". Классы GTEXT2f и GTEXT3f, а также класс GFONT и перечисление GFONTTITLE используются для отображения текстов в окне визуализаций OPENGL. К примеру, текст на рисунке 4.5 реализован с использованием класса GTEXT3f. Классы GOBJECT2f и GOBJECT3f являются абстрактными классами, а их методы являются не реализованными, они служат лишь для стандартизации методов для всех наследуемых классов. Классы GBOX2f и GBOX3f, а также класс GSHERE3f являются геометрическими примитивами. Эти классы наследованы от классов GOBJECT2f и GOBJECT3f соответственно и реализуют описанные в них методы. Класс GOBJECTFROM3DSMAX3f позволяет импортировать и визуализировать сложные объекты, построенные в программе 3DS MAX и сохраненные как множество треугольников с соответствующими текстурами в формате obj. Класс CAMERA3f предназначен для установки камеры наблюдения за визуализируемыми моделями. В данном классе реализованы методы работы с мышью (вращение и приближение объектов).

Таким образом, разработан программный модуль по моделированию торможения тяжелых ионов в полной и частично ионизованной плазме инерционного термоядерного синтеза с возможностью использования различных физических приближений для описания взаимодействия ионного пучка с веществом. Можно сделать вывод, что полученные данные с использованием программного модуля применимы для исследования динамических характеристик плотной плазмы инерционного термоядерного синтеза.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта 3083/ГФ4 (2016).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] N.A. Tahir, Th. Stöhlker, A. Shutov, I.V. Lomonosov, V.E. Fortov, M. French, N. Nettelmann, R. Redmer, A.R. Piriz, C. Deutsch, Y. Zhao, H. Xu, G. Xio and P. Zhan. New Journal of Physics 12, 073022 (2010).
- [2] B.E. Фортов. Экстремальные состояния вещества. – Москва, ФИЗМАТЛИТ (2009).
- [3] V.E. Fortov. Extreme states of matter on Earth and in the Cosmos. – Berlin, Springer (2009).
- [4] B.E. Фортов, Д. Хоффманн, Б.Ю. Шарков. УФН. Т. 178, №2. С.114 (2008).
- [5] M. Kulish, A. Golubev, A. Fertman, V. Turtikov, A. Tauschwitz. Review of Scientific Instruments V. 74, №5 (2001).
- [6] T.S. Ramazanov, S.K. Kodanova. Phys. Plasmas 8 , 5049 (2001).
- [7] C.A. Ordonez, M.I. Molina. Phys. Plasmas 1, 2515 (1994).
- [8] T.S. Ramazanov, S.K. Kodanova, Zh.A. Moldabekov, M.K. Issanova. Phys. Plasmas 20, 112702 (2013).
- [9] S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, M.K. Issanova, Zh.A. Moldabekov, G. Nigmatova. Contrib. Plasma Phys. 55, No. 2-3, 271 – 276 (2015).
- [10] M.K. Issanova, S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, D.H.H. Hoffmann. Contrib. Plasma Phys. 56, 425 (2016).
- [11] M.T. Gabdullin, S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, M.K. Issanova, T.N. Ismagambetova. Nukleonika 61, №2, 125 (2016).
- [12] M.K. Issanova, S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, N.Kh. Bastykova, Zh.A. Moldabekov, C.-V. Meister. Laser and Particle Beams, 34, 457-466 (2016).
- [13] J.P. Hansen, Computer simulation of basic plasma phenomena.- Paris, 433-470 (1979).
- [14] Д. Рихтер. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C#. 4-е изд., изд. Питер, 2016. – 896 с.
- [15] К. Нагел, Б. Ивьеен, Дж. Глинн, К. Уотсон, М. Скиннер. C# 4.0 и платформа .NET 4 для профессионалов, изд. Вильямс, 2011. – 1440 с.
- [16] T.S. Ramazanov, S.K. Kodanova, N.Kh. Bastykova, Zh.A. Moldabekov, M.K. Issanova. Communications in Computational Phys., Vol. 15, 2014, 981-995.
- [17] Г. Шилдт. C# 4.0, изд. Вильямс, 2015. – 1056 с.
- [18] Н. А. Литвиненко. Технология программирования на C++, изд. БХВ-Петербург, 2010. – 281 с.

- [19] M. Mahdavi and T. Koohrokhi. Physical Review E 85, 016405 (2012).
- [20] J.R. Adams, N.S. Shilkin, V.E. Fortov, V.K. Gryaznov, V.B. Mintsev, R. Redmer, H. Reinholtz, and G. Ropke. Phys. Plasmas. Vol. 14. P. 062303 (2007).
- [21] D.H.H. Hoffmann et al. Phys. Rev. Vol. A 42. P. 2313 (1990).

Коданова С.К., Исанова М.К., Слямова Э.С.

**Тығыз плазмадағы иондардың тәжелуін 2D және 3D визуализациялау бойынша құрал ортасын әзірлеу**

**Түйіндеме.** Осы жұмыстың шеңберінде тиімді бөлшектердің өзара әрекеттесу потенциалын пайдалана отырып, кулондық логарифм негізінде тығыз плазмалық тәжеу процестерін есептеу, талдау және визуализациялау үшін бағдарламалық кешен әзірленді. Әзірленген құрал ортасы инерциялық термоядролық синтездегі тығыз плазма қасиеттерін зерттеуге ынғайлы және сенімді құрал болып табылады. Жасалынған бағдарламалық кешен идеалды емес тығыз плазманың қасиеттерін зерттеу және моделдеу үшін теориялық және қолданбалы мәнге ие. Сондай-ақ, бағдарламада суреттерді түрлендіру, пайдалану, жылжыту, айналдыру, толық экран, масштабтау операторлары қарастырылған.

**Түйін сөздер:** тығыз плазма, инерциялық термоядролық синтез, бағдарламалық кешен, компьютерлік моделдеу, визуалдау

Kodanova S.K., Issanova M.K., Slyamova E.S.

**Development of tool environment in 2D and 3D visualization of ions stopping in a dense plasma**

**Summary.** In this work developed the software package for calculation, analysis and visualization of the stopping processes in dense plasma based on the Coulomb logarithm using an effective interaction potential. The software module provides users with extensive information as graphical interpretations as well as in table. Created tool environment is a convenient and reliable means to investigate properties of the dense plasma of inertial thermonuclear fusion. Software package developed by the project has both theoretical and practical importance for the investigation and simulation of non-ideal dense plasma properties. Also, control which using is included in the program, shift operators, turn, a full-screen mode, scaling transforms images.

**Keywords:** dense plasma, inertial confinement fusion, software complex, computer simulation, visualization

УДК 533.9:004.9

**С.К. Коданова, М.К. Исанова, Э.С. Слямова**

(Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики,

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,

Алматы, Республика Казахстан,

E-mail: moldir.issanova@gmail.com)

**СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПО РАСЧЕТУ ТОРМОЖЕНИЯ ИОНОВ В ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЕ**

**Аннотация.** В рамках данной работы разработан программный комплекс по расчету, анализу и визуализации процессов торможения плотной плазмы на основе Кулоновского логарифма с использованием эффективного потенциала взаимодействия частиц. Программный модуль обеспечивает пользователей широкой информацией, как в графической интерпретации, так и в табличной форме. Созданный автоматизированный комплекс является удобным и надежным средством для исследования свойств плотной плазмы инерционного термоядерного синтеза. Разработанный программный комплекс имеют как теоретическое, так и прикладное значение для исследования и моделирования свойств неидеальной плотной плазмы. Численные результаты полученные на основе программных модулей были сравнены с теоретическими и экспериментальными работами других авторов и имеют хорошие согласие.

**Ключевые слова:** плотная плазма, инерционный термоядерный синтез, программный комплекс, компьютерное моделирование, визуализация

На сегодняшний день в мире проводится большое количество теоретических и экспериментальных работ по изучению фундаментальных физических процессов в области ИТС [1-5]. Пробеги тяжелых многозарядных ионов в мишени, и ионизационные потери обусловлены тормозной способностью плотной высокотемпературной плазмы. Следовательно, знание величин пробегов и профилей энерговыделения тяжелых, заряженных частиц в плазме позволят более точно рассчитать конструкцию термоядерной мишени.