

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ФЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# ХАБАРЛАРЫ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ  
◆  
СЕРИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ  
◆  
PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES

5 (303)

ҚЫРКҮЙЕК – ҚАЗАН 2015 ж.  
СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ 2015 г.  
SEPTEMBER – OCTOBER 2015

1963 ЖЫЛДЫН ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАФАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫГАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

**$K_0^*(800)$  ЖӘНЕ  $f_0(980)$  СКАЛЯРЛЫҚ МЕЗОНДАРДЫҢ ҮДҮРАУ ЕНИН КВАРКТАРДЫҢ  
КОВАРИАНТТЫҚ МОДЕЛИНІҢ НЕГІЗІНДЕ ЕСЕПТЕУ**

**А. Н. Исадыков<sup>1</sup>, М. А. Иванов<sup>2</sup>, С. А. Жаугашева<sup>3</sup>, Г. С. Нұрбакова<sup>3</sup>, Б. А. Мукушев<sup>4</sup>**

**Тірек сөздер:** үдүрау ені, кварктардың коварианттық моделі, скалярлық мезон, дикварктық күй.

**Аннотация.** Жұмыста массалары 1 ГэВ-тен аз скалярлық мезондардың үдүрау ені есептелінген.  $K_0^*(800)$  және  $f_0(980)$  скалярлық мезондардың екі кварктын байланыскан күйінде тұратын болжамымен алынған. Мезондардың әртүрлі үдүрау модаларының ені кварктардың коварианттық моделі аясында есептелінген.  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$  үдүрау модасының ені тәжірибелік деректерден біршама аз, сонымен  $K_0^*(800)$  мезонның дикварктық жүйесі емес, үлкен ықтималдықпен тетракварттық күрүлым екенін тікелей дәлелі болып табылады. Бірақ  $f_0(980)$  мезонның күшті үдүрау ендері тәжірибелік деректермен толық көлісімде. Осыған орай алынған деректерге сүйене,  $f_0(980)$  мезонның екі кварктан құралған бөлшек екенін жорамалдаймыз. Осы есептелінген мәліметтерге сүйене, массалары 1 ГэВ-тен аз скалярлық резонанстарды ( $J^{PC} = 0^{++}$ ) тетракварт жүйесі, әрі дикварк жүйесі ретінде болатынын болжаймыз.

Поступила 15.15.2015 г.

**N E W S**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 165 – 171

**ENERGETIC CHARACTERISTICS OF IONS  
IN INERTIAL CONFINEMENT FUSION DENSE PLASMA**

**S. K. Kodanova, T. S. Ramazanov, M. K. Issanov**

IETP, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: isanova\_moldir@mail.ru

**Key words:** stopping power, coulomb logarithm, effective potential, deposition time, energy loss.

**Abstract.** In this work energetic characteristics of ions in inertial confinement fusion dense plasma are investigated. The study is performed on the basis of the Coulomb logarithm using the effective interaction potential. the effective interaction potential which including both charge screening at large distance and quantum effects at short distance will be used. The Coulomb logarithm on the basis of the effective interaction potential of the particles is determined by the centre-of-mass scattering angle of the pair Coulomb collisions. The reaction involving the hydrogen isotopes deuterium and tritium (DT-cycle) are investigated. Calculations of the mean deflection angle of the ions, of the stopping time, as well as the range and penetration depth in DT plasma were carried out. The values of the stopping power and slowing down of the initial energy of the  $\alpha$ -particles under real conditions in the ICF target are calculated. A wide spectrum of species of heavy ions  $^{40}Ca^{13+}$ ,  $^{74}Ge^{18+}$ ,  $^{110}Pd^{26+}$ ,  $^{208}Pd^{30+}$ ,  $^{84}Kr^{18+}$ ,  $^{238}U^{33+}$  is investigated. The comparison of the calculated data for the ion stopping power with experimental and theoretical results of other authors is done.

УДК 533.93

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОВ В ПЛОТНОЙ  
ПЛАЗМЕ ИНЕРЦИОННОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА**

**С. К. Коданова, Т. С. Рамазанов, М. К. Исанова**

НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** тормозная способность, кулоновский логарифм, эффективный потенциал, время торможения, потеря энергии.

**Аннотация.** В работе исследованы энергетические характеристики ионов в плотной плазме инерционного термоядерного синтеза. Исследование проведено на основе кулоновского логарифма с помощью эффективного потенциала взаимодействия частиц. При расчете кулоновского логарифма использован эффективный потенциал, который учитывает как квантовые эффекты на малых расстояниях, так и эффект экранирования на больших расстояниях. Кулоновский логарифм на основе эффективного потенциала взаимодействия частиц определяется с помощью угла рассеяния центра масс при парном кулоновском столкновении. Исследована реакция с участием изотопов водорода: дейтерия и трития (DT-цикл). Выполнены вычисления среднего угла рассеяния, времени торможения, длины пробега и глубины проникновения иона в DT плазме. Вычислены значения тормозной способности и энергии торможения для альфа-частицы при реальных условиях в мишениях ИТС. Проведено исследование широкого спектра тяжелых ионов вида  $^{40}Ca^{13+}$ ,  $^{74}Ge^{18+}$ ,  $^{110}Pd^{26+}$ ,  $^{208}Pd^{30+}$ ,  $^{84}Kr^{18+}$ ,  $^{238}U^{33+}$ . Было проведено сравнение с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов по потери энергии ионов.

**Введение.** В последние годы значительное внимание исследователей привлекает изучение состояния вещества с высокими концентрациями энергии и, как следствие, с высокими давлениями и температурами. Особое место среди работ посвященных различным аспектам данной проблемы занимают исследования в области инерционного термоядерного синтеза (ИТС) 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. Необходимые для этого ускорители действуют в ряде лабораторий мира и хорошо известны как основной экспериментальный инструмент в исследованиях по ядерной физике, физике элементарных частиц, физике плотной плазмы [1-2].

Потребность в новых теоретических и экспериментальных данных по торможению тяжелых ионов в плазме с электронной плотностью выше, необходимых для адекватного качественного описания процессов взаимодействия тяжелоионных пучков с плотной плазмой в широком диапазоне параметров, является принципиальным обоснованием актуальности исследований в области ИТС. Этой проблеме было посвящено большое число теоретических и экспериментальных работ [3, 4]. Действительно, прохождение заряженных частиц через вещество мишени сопровождается разнообразными процессами взаимодействия с элементарными частицами, атомами. Поэтому моделирование тяжелых многозарядных ионов для инерциального термоядерного синтеза требует как качественного, так и количественного описания процессов взаимодействия тяжелых частиц с веществом в широком диапазоне параметров плотностей и температур.

**Тормозная способность и кулоновский логарифм.** Определяющим параметром при описании взаимодействия ионов с веществом является энергия налетающих частиц. Тормозная способность – параметр, характеризующий скорость потери средней энергии для быстродвижущихся электронов или ионов плазмы. Следовательно, тормозная способность [5-6]:

$$\frac{dE}{dx} = 8\pi n \left( \frac{\mu_{\alpha\beta}}{m_\beta} \right) \cdot E_c \cdot b_\perp^2 \cdot \lambda_{\alpha\beta}, \quad (1)$$

здесь  $E_c = \frac{1}{2} \mu_{\alpha\beta} v^2$  – энергия центра масс,  $v$  – относительная скорость пробной частицы,

$$b_\perp = \frac{Z_\alpha Z_\beta e^2}{2E_c}, \quad \lambda_{\alpha\beta} \text{ – кулоновский логарифм (2).}$$

При оценке энергетических характеристик ионов в плазме необходимо найти значения кулоновского логарифма. Кулоновский логарифм на основе эффективного потенциала взаимодействия частиц определяется с помощью угла рассеяния центра масс при парном кулоновском столкновении [7-8]:

$$\lambda_{\alpha\beta} = \frac{1}{b_\perp^2} \int_0^{b_{\max}} \sin^2 \left( \frac{\theta_c}{2} \right) b db, \quad (2)$$

Угол рассеяния центра масс определяется как [7]:

$$\theta_c = \pi - 2b \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r^2} \left( 1 - \frac{\Phi_{\alpha\beta}(r)}{E_c} - \frac{b^2}{r^2} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $m_{\alpha\beta} = m_\alpha m_\beta / (m_\alpha + m_\beta)$  - приведенная масса частиц сорта  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $b_\perp = Z_\alpha Z_\beta / (m_{\alpha\beta} v^2)$ . В качестве минимального прицельного параметра принят  $b_{\min} = \max\{b_\perp, \lambda_{\alpha\beta}\}$ , где  $\lambda_{\alpha\beta} = \hbar / \sqrt{2\pi m_{\alpha\beta} k_B T}$  - тепловая длина волны де-Бройля.

Использованы следующие безразмерные параметры:  $\Gamma = Z_\alpha Z_\beta e^2 / a k_B T$  - параметр связи, где  $Z_\alpha e, Z_\beta e$  - заряды частиц сорта  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $a = (3/4\pi n)^{1/3}$  - среднее межчастичное расстояние между частицами,  $r_s = a/a_B$  - параметр плотности,  $\omega_p = \sqrt{4\pi n e^2 / m_e}$  - плазменная частота. В формуле (3)  $\Phi_{\alpha\beta}(r)$  - потенциал взаимодействия частиц и  $r_0$  определяется из уравнения:

$$1 - \frac{\Phi_{\alpha\beta}(r_0)}{E_c} - \frac{b^2}{r_0^2} = 0. \quad (4)$$

Как известно, учет коллективных эффектов экранирования во взаимодействии частиц плазмы необходим для корректного описания статических и динамических свойств плазмы. В данной работе рассматривается плотная плазма, для которой также важен учет квантовых эффектов на малых межчастичных расстояниях. Далее при расчете кулоновского логарифма будем использовать эффективный потенциал, учитывает как квантовые эффекты на малых расстояниях, так и эффект экранирования на больших расстояниях [9]:

$$\Phi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_\alpha Z_\beta}{r \sqrt{1 - (2\lambda_{\alpha\beta}/r_D)^2}} (\exp(-rB) - \exp(-rA)), \quad (5)$$

$$B^2 = \frac{1}{2\lambda_{\alpha\beta}^2} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2\lambda_{\alpha\beta}}{r_D} \right)^2} \right), \quad A^2 = \frac{1}{2\lambda_{\alpha\beta}^2} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{2\lambda_{\alpha\beta}}{r_D} \right)^2} \right),$$

где  $r_D$  - радиус экранирования Дебая,  $\lambda_{\alpha\beta} = \hbar / \sqrt{2\pi m_{\alpha\beta} k_B T}$  - тепловая длина волны частиц,  $m_{\alpha\beta} = m_\alpha m_\beta / (m_\alpha + m_\beta)$  - приведенная масса частиц. Для неизотермической плазмы появляется электрон-ионная характеристическая температура  $T_{ei}$  [10-11]. В работе [11] показано, что для корректного описания свойств плазмы электрон-ионная температура должна быть выражена в виде:  $T_{ei} = \sqrt{T_e T_i}$ .

**Энергетические характеристики ионов в плотной плазме.** Исследование процессов по торможению тяжелых ионов в плотной плазме инерционного термоядерного синтеза особенно актуально [12].

Основой управляемого термоядерного синтеза является обеспечение протекания реакции слияния легких ядер. Наибольший интерес с этой точки зрения представляют реакции с участием изотопов водорода:дейтерия и трития (DT-цикл). Для термоядерного горения часть энергии синтеза должна быть вложена в топливо. В случае DT реакции



В этой реакции общая энергия равная 17.6 МэВ распределяется между  $\alpha$ -частицей с энергией 3.5 МэВ и нейтроном с энергией 14.1 МэВ. Чтобы поглотить энергию  $\alpha$ -частицы (3.5 МэВ), размеры топлива должны превышать длину ее пробега  $\rho r$ . Под пробегом ионов в веществе обычно понимают глубины их проникновения в вещество. Пробег частицы определяется следующим образом:

$$\rho r = \int_E^{E_0} \left( \frac{dE}{\rho dx} \right)^{-1} dE, \quad (6)$$

где значение тормозной способности  $\frac{dE}{dx}$  вычисляется согласно (1),  $E_0$  - начальная энергия частицы.

Для более точного расчета конструкций термоядерной мишени необходимо также определить такие параметры, как средний угол рассеяния, время торможения, глубина проникновения иона. Время торможения иона в DT плазме определяется следующей формулой:

$$t_{dep} = \int_E^{E_0} \left( \frac{dE}{dt} \right)^{-1} dE, \quad (7)$$

Глубина проникновения иона с начальной энергией  $E_0$  можно вычислить следующим уравнением:

$$\rho x = \int_E^{E_0} \langle \cos \theta \rangle \left( \frac{dE}{\rho dx} \right)^{-1} dE. \quad (8)$$

В работе оценены времена торможения, средний угол рассеяния, глубина проникновения, эффективный пробег частиц с различной энергией, образующихся в DT плазме. Время торможения иона в DT плазме с начальной энергией  $E_0 = 12 \text{ МэВ}$  приведено на рисунке 1. Результаты на графике показывают, что на время торможения влияют значение начальной энергии, плотность и температура топлива, но основной проблемой является процесс торможения иона до  $t_{dep} \leq 3 \text{ нс}$  при энергиях до 12 МэВ.

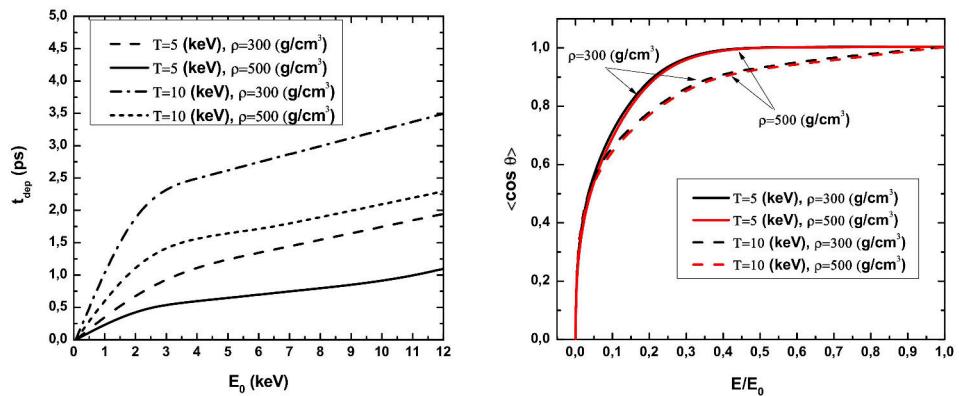


Рисунок 1 – Время торможения иона  
в DT плазме с начальной энергией  $E_0 = 12 \text{ МэВ}$

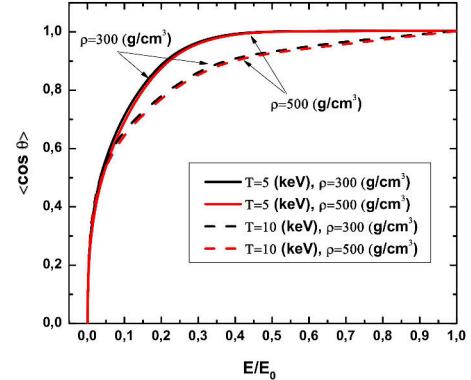


Рисунок 2 – Средний угол рассеяния иона  
в DT плазме с энергией  $E_0 = 12 \text{ МэВ}$

На рисунке 2 приведены значения среднего угла рассеяния иона с энергией  $E_0 = 12 \text{ МэВ}$ . Показано что, проходящий через мишень ион с начальной энергией  $E_0 = 12 \text{ МэВ}$  постоянно меняет направление, пока теряет свою энергию. Как видно из рисунка, плотность мишени не влияет на средний угол рассеяния, в отличии от температуры.

На рисунках 3, 4 приведены значения тормозной способности и энергии торможения для альфа-частицы при реальных условиях в мишенях ИТС.

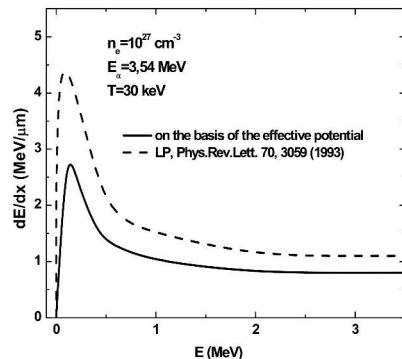


Рисунок 3 – Тормозная способность альфа- частицы в DT плазме с начальной энергией  $E_0 = 3.54 \text{ MeV}$

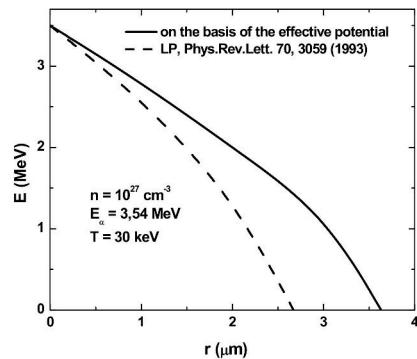


Рисунок 4 – Энергия торможения альфа-частицы с начальной энергией  $E_0 = 3.54 \text{ MeV}$  в реакции  $D + T \rightarrow \alpha + n$

Пробег  $\alpha$ -частицы с энергией 3.5 МэВ в плазме с температурой 30 кэВ составляет около  $3 \text{ г}/\text{см}^2$ . Следовательно, для того, чтобы реализовать эффективный самонагрев топлива за счет поглощения энергии  $\alpha$ -частицы, необходимо довести его до таких условий, когда  $\rho r > 3 \text{ г}/\text{см}^2$ .

На рисунках 5, 6 показаны зависимости длины пробега и глубины проникновения протонов от различной энергии от плотности и температуры мишени. Результаты показывают, что при более низкой температуре мишени  $T = 5 \text{ кэВ}$ , протоны могут сохранять свою энергию внутри мишени при  $\rho R < 1.2 \text{ г}/\text{см}^2$ . Однако, когда мишень становится более горячей  $T = 10 \text{ кэВ}$ , требуемая начальная энергия протона уменьшается до  $\leq 2 \text{ МэВ}$ , чтобы удовлетворить требуемую глубину оптимального осаждения.

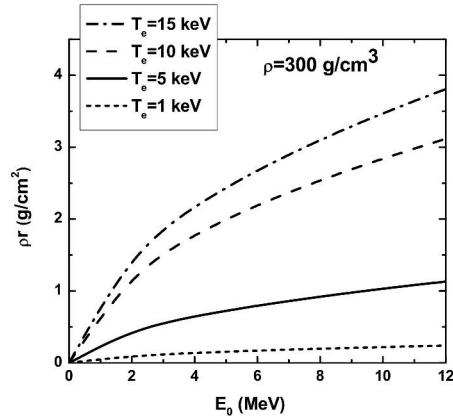


Рисунок 5 – Длина пробега протона в DT плазме при плотности  $\rho = 300 \text{ г}/\text{см}^2$

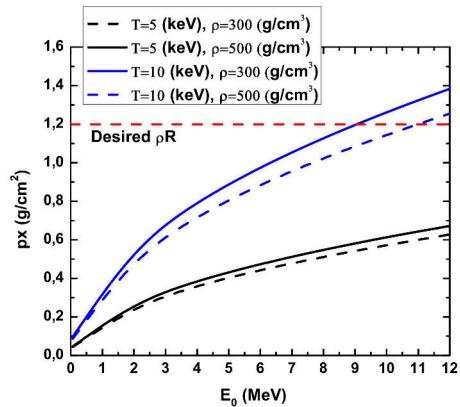


Рисунок 6 – Глубина проникновения протона в DT плазме при разных значениях плотности и температур

Исследование потери энергии заряженных частиц в плазме имеет большое значение для физики плазмы, также как для проблем инерционного синтеза [13, 14]. Действительно, проход заряженных частиц через мишень сопровождается множеством процессов взаимодействия с атомами. Природа и результаты этих взаимодействий зависят от типа энергии пучка заряженных частиц, а так же от типа, плотности, состава и размера мишени.

Первые систематизированные измерения тормозных потерь в плазме с высокой степенью ионизации были проведены на GSI -Дармштадт (Германия) для различных типов ионов – от  $^{40}Ca$  до  $^{238}U$  - с энергией 1,4 МэВ [13, 14]. Мишень, через которую направлялись пучки ионов для измерения энергетических потерь, представляла собой плазму сильноточного разряда в водороде с температурой  $T_e = 2eV$  и плотностью  $n_e = 4 \cdot 10^{17} cm^{-3}$ . Кроме исследования широкого спектра тяжелых ионов вида  $^{40}Ca^{13+}$ ,  $^{74}Ge^{18+}$ ,  $^{110}Pd^{26+}$ ,  $^{208}Pd^{30+}$ ,  $^{84}Kr^{18+}$ ,  $^{238}U^{33+}$ , этот эксперимент [14] свидетельствует об увеличении заряда ионов  $Z_{eff}$  при прохождении через плазму.

Сравнение результатов численных вычислений на основе кулоновского логарифма с экспериментом приведены на рисунке 7. Из сравнения результата компьютерного моделирования с экспериментом [14] видно, что значения кулоновского логарифма на основе эффективного потенциала хорошо согласуются с экспериментальными данными. Это можно объяснить учетом увеличения эффективного заряда ионов в эксперименте и изменения кулоновского логарифма в моделировании.

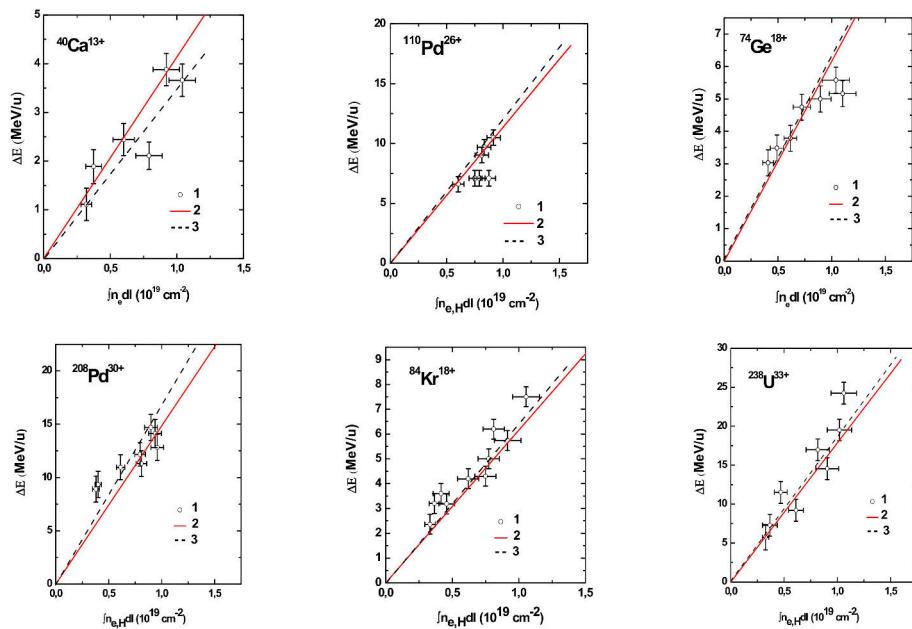


Рисунок 7 – Потеря энергий ионов  $^{40}Ca^{13+}$ ,  $^{74}Ge^{18+}$ ,  $^{110}Pd^{26+}$ ,  $^{208}Pd^{30+}$ ,  $^{84}Kr^{18+}$ ,  $^{238}U^{33+}$  в водородной плазме:  
1 – эксперимент [14], 2 – на основе эффективного потенциала, 3 – формула Безье

**Заключение.** В соответствии с теоретическими представлениями плазма должна обладать более высокой тормозной способностью при одинаковой с неионизованным газом плотностью. Причинами этого являются, более высокий эффективный заряд и более высокое значение кулоновского логарифма. Таким образом, знание величин пробегов и профилей энерговыделения тяжелых, заряженных частиц в плазме позволяют более точно рассчитать конструкцию термоядерной мишени.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта ИТТ-1/ГФ4 2015.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1] В.Е. Фортов. Экстремальные состояния вещества – М.: ФИЗМАТЛИТ. - 2009. – 332 с.
- [2] V.E. Fortov. Extreme states of matter on Earth and in the Cosmos. – Berlin: Springer. - 2009. – 332 p.
- [3] В.Е. Фортов, Д. Хоффманн, Б.Ю. Шарков // УФН. – 2008. – Т. 178. – №2. – Р.114.
- [4] M. Kulish, A. Golubev, A. Fertman, V. Turtikov, A. Tauschwitz // Review of Scientific Instruments. – 2001. – V. 74, - №5. P. 119.
- [5] C.A. Ordonez, M.I. Molina // Phys. Plasmas. – 1994. – №1. - P. 2515.
- [6] T.S. Ramazanov, S.K. Kodanova // Phys. Plasmas. 2001. – № 8. - P. 5049.
- [7] G. Belyaev, M. Basko, A. Cherkasov, A. Golubev, A. Fertman, I. Roudskoy, S. Savin, B. Sharkov, V. Turtikov, A. Arzumanov, A. Borisenko, I. Gorlachev, S. Lysukhin, D. H. H. Hoffmann, and A. Tauschwitz // Phys. Rev. E. – 1996. - №.53. – P. 2701.
- [8] A. Golubev, M. Basko // Phys. Rev E. – 1996. - № 53. - p. 2701-2707.
- [9] S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, M.K. Issanova, Zh.A. Moldabekov, G. Nigmatova // Contrib. Plasma Phys. -2015. – Vol.55, No. 2-3, p. 271 – 276.
- [10] P. Seuerling, J. Vogel, and C. Toepffer // Phys. Rev. A. - 1989.-Vol. 40. - p. 323-329.
- [11] R. Bredow, Th. Bornath, W.D. Kraeft, R. Redmer // Contrib. Plasma Phys. -2013. - Vol. 53. - p. 276-284.
- [12] M. Mahdavi and T. Koohrokhi // Physical Review E. – 2012. Vol. 85. – P. 016405.
- [13] J.R. Adams, N.S. Shilkin, V.E. Fortov, V.K. Gryaznov, V.B. Mintsev, R. Redmer, H. Reinholz, and G. Ropke // Phys. Plasmas. – 2007. - Vol. 14. - P. 062303.
- [14] Hoffmann D.H.H. et al // Phys. Rev. 1990. - Vol. A 42. P. 2313.

**REFERENCES**

- [1] V.E. Fortov. Extreme states of matter. *PHIZMATHLIT*, **2009**. 332 p. (in Russ.).
- [2] V.E. Fortov. Extreme states of matter on Earth and in the Cosmos. *Berlin, Springer*, **2009**. 332 p. (in Eng.).
- [3] V.E. Fortov, D.H.H. Hoffmann, B.Yu. Sharkov. *UFN*. **2008**. Т. 178, №2. P.114. (in Eng.).
- [4] M. Kulish, A. Golubev, A. Fertman, V. Turtikov, A. Tauschwitz. *Review of Scientific Instruments*, **2001**. V. 74, №5. P. 119. (in Eng.).
- [5] C.A. Ordonez, M.I. Molina. *Phys. Plasmas*, **1994**. 1, P. 2515. (in Eng.).
- [6] T.S. Ramazanov, S.K. Kodanova. *Phys. Plasmas*, **2001**. 8, P. 5049. (in Eng.).
- [7] G. Belyaev, M. Basko, A. Cherkasov, A. Golubev, A. Fertman, I. Roudskoy, S. Savin, B. Sharkov, V. Turtikov, A. Arzumanov, A. Borisenko, I. Gorlachev, S. Lysukhin, D. H. H. Hoffmann, and A. Tauschwitz. *Phys. Rev. E*. **1996**. 53, P. 2701. (in Eng.).
- [8] A. Golubev, M. Basko. *Phys. Rev E*. **1996**. 53, p. 2701-2707. (in Eng.).
- [9] S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, M.K. Issanova, Zh.A. Moldabekov, G. Nigmatova. *Contrib. Plasma Phys.* **2015**. Vol. 55, No. 2-3, p. 271 – 276. (in Eng.).
- [10] P. Seuerling, J. Vogel, and C. Toepffer. *Phys. Rev. A*. **1989**. Vol. 40. p. 323-329. (in Eng.).
- [11] R. Bredow, Th. Bornath, W.D. Kraeft, R. Redmer. *Contrib. Plasma Phys.* **2013**. Vol. 53. p. 276-284. (in Eng.).
- [12] M. Mahdavi and T. Koohrokhi. *Physical Review E*. **2012**. 85, P. 016405. (in Eng.).
- [13] J.R. Adams, N.S. Shilkin, V.E. Fortov, V.K. Gryaznov, V.B. Mintsev, R. Redmer, H. Reinholz, and G. Ropke. *Phys. Plasmas*. **2007**. Vol. 14. P. 062303. (in Eng.).
- [14] D.H.H. Hoffmann et al. *Phys. Rev. A*. **1990**. Vol. 42. P. 2313. (in Eng.).

**ИНЕРЦИАЛДЫ ТЕРМОЯДРОЛЫҚ СИНТЕЗ ТЫҒЫЗ ПЛАЗМАСЫНЫҢ ИОНДАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ****С. К. Коданова, Т. С. Рамазанов, М. К. Исанова**

**Тірек сөздер:** тежегіштік кабілет, кулон логарифмы, эффективтік потенциал, тежелу уақыты, энергия жоғалтуы.

**Аннотация.** Жұмыста инерциалды термоядролық синтез тығыз плазмасының иондарының энергетикалық сипаттамалары зерттелді. Зерттеу Кулон логарифмы негізінде болшектердің өзара асерлесуінің эффективтік потенциалын пайдалана отырып жүргізілді. Кулон логарифмының есептеуде үлкен ара-кашыктықта экрандалу эффективтікін, кіші ара-кашыктықта дифракция және симметрия эффективтікін ескеретін эффективтік потенциал колданылды. Кулон логарифмі эффективтік потенциал негізінде кос кулондық соқтығысуда массалар центрінің шашырау бұрышы арқылы анықталады. Сутегі изотоптары: дайтерий мен тритий катысы реакциясы (DT-цикл) зерттелді. Иондардың DT плазмасында орташа шашырау бұрышы, тежелу уақыты, жол ұзындығы, енү теренделігі есептеулері орындалды. ИТС нысаналарында накты жағдайдагы альфа-болшектердің тежегіштік кабілеті мен тежелу энергиясы есептелді. Проведено исследование широкого спектра тяжелых ионов вида  $^{40}Ca^{13+}$ ,  $^{74}Ge^{18+}$ ,  $^{110}Pd^{26+}$ ,  $^{208}Pd^{30+}$ ,  $^{84}Kr^{18+}$ ,  $^{238}U^{33+}$  турндегі ауыр иондардың ауқымды спектрі зерттелді. Ионның тежегіштік кабілеті бойынша басқа авторлардың эксперименттік және теориялық нағайелерінің есептеу мәліметтерімен салыстыру жүргізілді.

Поступила 15.15.2015 г.

МАЗМУНЫ

**Аспан механикасының және жұлдыздар жүйесі динамикасының мәселелері**

Шукиргалиев Б.Т., Панамарев Т.П., Абдрахманов С.Г., Макуков М.А., Омаров Ч.Т. Аккремиялық диск пішінін белсенді ядролы галактикалардың динамикасына әсері.....	5
Гайсина В., Денисюк Э., Валиуллин Р. Сейферт ғаламдары спектрлеріндегі тыйымдаған эмиссия сыйығы.....	12
Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С. Протондар шашырауының фазалық талдауы $^{16}\text{O}$ . I.....	22
Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С. Протондар шашырауының фазалық талдауы $^{16}\text{O}$ . II.....	28
Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С. Протондар шашырауының фазалық талдауы $^{16}\text{O}$ . III.....	33

**Жұлдыздарды және тұмандықтарды зерттеу**

Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К. RS Ophiuchi спектрлік және фотометрлік бақылаудардың нәтижелері.....	38
Павлов Л.А. Жас жұлдыздар белсенділігінің бақылану белгілері.....	44
Кусакин А.В., Хруслов А.В., Кокумбаева Р.И., Рева И.В. Төрт жана ұзакпериодтық айнымалы жұлдыздар.....	49
Кусакин А.В., Хруслов А.В., Кокумбаева Р.И., Рева И.В. NORTHERN SKY VARIABILITY SURVEY мәліметтерінен табылған жаңа кызыл айнымалы жұлдыздар.....	55

**Күннің және күн жүйесіндегі деңелердің физикасы**

Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Энергия спектрлері және бөлшектердің куатты ағымдарының қасметі.....	60
Шестакова Л.И., Демченко Б.И. 29.03.2006 және 01.08.2008 Күн тұтылуы кезінде тозаңнан сәуле жылдамдығының бақылау.....	64
Шестакова Л.И., Демченко Б.И. Күн тұтылу кезіндегі сәуле жылдамдығының бақылаулары бойынша күн маңындағы тозаңның тараулы үлгісі.....	73
Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. 2015 жылды коріну маусымында Юпитерде метанды-аммиакты жүтууды зерттеу. I. Экватор аймагы.....	82
Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. 2015 жылды коріну маусымында Юпитерде метанды-аммиакты жүтууды зерттеу. II. Экватор белдеудері және тропикалық аймак.....	87
Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. 2015 жылды коріну маусымында Юпитерде метанды-аммиакты жүтууды зерттеу. III. Орталық меридиан.....	91
Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г. 2014 ж. Сатурн – молекулалық жұту жолактарының ендік вариациялары.....	96
Тейфель В.Г., Каримов А.М., Бондаренко Н.Н., Харитонова Г.А. Сатурндағы аммиакты жүтуудың ендік асимметрияларының белгілері.....	102
Диденко А.В., Усольцева Л.А. ПЗС-матрицасы бар 1-м телескопта гарыш калдырының кіші колемді фрагменттерінің және фотометрлік жүйесінің бақылаулары үшін фотометрлік стандарттардың тізімі.....	109
Кругов М.А., Личкановский Н.В., Терещенко В.М. Екі каналды жетітүсті ПЗС-фотометр.....	115
Диденко А.В., Комаров А.А., Терещенко В.М. Жетітүсті фотометрдің көзжерім каналаңының фотометрлік үлгілеу.....	120

**Теориялық және тәжірибелік зерттеулер**

Асанова А.Т., Иманчиев А.Е. Үшінші ретті дифференциалдық тендеу үшін көпнүктелі шеттік есептің бірмәнді шешілімділігі туралы.....	124
Ахметова А.М., Нұрманова С.А. Ашық кілтті ақпаратты корғау құралдарына талдау жасау.....	133
Бастықова Н.Х., Коданова С.К., Рамазанов Т.С., Майоров С.А. Термоядролық реактордың кабыргалық плазмасында тозаңды белгілік динамикасы.....	140
Боос Э.Г., Теміралiev Т., Ізбасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А., Федосимова А.И. Импульсі 32 ГэВ/с антипротон-протондық орбиталық синтезде оңай сфериситасының зарядтаған мезондардаға берілген энергиямен корреляциясы.....	145
Бошкаев К.А., Сулайманова Ш.С., Аймуратов Е.К., Жәми Б.А., Тоқтарбай С., Таукеевна Ә.С., Калымова Ж.А. Керр және Хартл-Торн метрикаларының сәйкестігі.....	151
Исадыков А.Н., Иванов М.А., Жаугашева С.А., Нұрбакова Г.С., Мукушев Б.А. $K_0(800)$ және $f_0(980)$ скалярлық мезондардың ыдырау енін кварктардың коварианттық моделінің негізінде есептеу.....	159
Коданова С.К., Рамазанов Т.С., Исанова М.К. Инерциалық термоядролық синтез тығызы плазмасының иондарының энергетикалық сипаттамалары.....	165

## СОДЕРЖАНИЕ

## Проблемы небесной механики и динамики звездных систем

<i>Шукиргалиев Б.Т., Панамарев Т.П., Абдрахманов С.Г., Макулов М.А., Омаров Ч.Т.</i> Влияние профиля аккреционного диска на динамику активных ядер галактик.....	5
<i>Гайсина В., Денисюк Э., Валиуллин Р.</i> Запрещенные эмиссионные линии в спектрах сейфертовских галактик.....	12
<i>Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С.</i> Фазовый анализ рассеяния протонов $^{16}\text{O}$ . I.....	22
<i>Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С.</i> Фазовый анализ рассеяния протонов $^{16}\text{O}$ . II.....	28
<i>Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Ткаченко А.С.</i> Фазовый анализ рассеяния протонов $^{16}\text{O}$ . III.....	33

## Исследование звезд и туманностей

<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К.</i> Результаты спектральных и фотометрических наблюдений RS Ophiuchi.....	38
<i>Павлова Л.А.</i> Наблюдаемые признаки активности молодых звезд.....	44
<i>Кусакин А.В., Хруслов А.В., Кокумбаева Р.И., Рева И.В.</i> Четыре новые долгопериодические переменные звезды.....	49
<i>Кусакин А.В., Хруслов А.В., Кокумбаева Р.И., Рева И.В.</i> Новые красные переменные звезды, найденные в данных NORTHERN SKY VARIABILITY SURVEY.....	55

## Физика Солнца и тел солнечной системы

<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</i> Спектры энергии и свойства мощных потоков частиц.....	60
<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> Наблюдения лучевых скоростей от пыли во время Солнечных затмений 29.03.2006 и 01.08.2008.....	64
<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> Модель распределения околосолнечной пыли по наблюдениям лучевых скоростей во время Солнечных затмений.....	73
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Исследование метаново-аммиачного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2015 года. I. Экваториальная область.....	82
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Исследование метаново-аммиачного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2015 года. II. Экваториальные пояса и тропические зоны.....	87
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Исследование метаново-аммиачного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2015 года. III. Центральный меридиан.....	91
<i>Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г.</i> Сатурн в 2014 г. – широтные вариации молекулярных полос поглощения.....	96
<i>Тейфель В.Г., Каримов А.М., Бондаренко Н.Н., Харитонова Г.А.</i> Признаки широтной асимметрии аммиачного поглощения на Сатурне.....	102
<i>Диденко А.В., Усольцева Л.А.</i> Список фотометрических стандартов для наблюдений малоразмерных фрагментов космического мусора и фотометрическая система 1-м телескопа с ПЗС-матрицей.....	109
<i>Круглов М.А., Личкановский Н.В., Терещенко В.М.</i> Двухканальный семицветный ПЗС-фотометр.....	115
<i>Диденко А.В., Комаров А.А., Терещенко В.М.</i> Фотометрическая калибровка визуального канала семицветного фотометра.....	120

## Теоретические и экспериментальные исследования

<i>Асанова А.Т., Иманчиев А.Е.</i> Об однозначной разрешимости многоточечной краевой задачи для дифференциального уравнения третьего порядка.....	124
<i>Ахметова А.М., Нуғманова С.А.</i> Анализ средств защиты информации с открытым ключом.....	133
<i>Бастыкова Н.Х., Коданова С.К., Рамазанов Т.С., Майоров С.А.</i> Динамика пылинки в пристеночной плазме термоядерного реактора.....	140
<i>Боос Э.Г., Темиратиев Т., Избасаров М., Самойлов В.В., Турсынов Р.А., Федосимова А.И.</i> Корреляция сферисити событий с энергией, переданной заряженным мезонам, в антипротон-протонных взаимодействиях при 32 ГэВ/с.....	145
<i>Бошкаев К.А., Сүлейманова Ш.С., Аймуратов Е.К., Жами Б.А., Токтарбай С., Таукенова А.С., Калымова Ж.А.</i> Соответствие метрик Kerra и Хартла-Торна.....	151
<i>Исадыков А.Н., Иванов М.А., Жаугашева С.А., Нурбакова Г.С., Мукушев Б.А.</i> Вычисление ширин распадов скалярных мезонов $K_0(800)$ и $f_0(980)$ в ковариантной модели кварков.....	159
<i>Коданова С.К., Рамазанов Т.С., Исанова М.К.</i> Энергетические характеристики ионов в плотной плазме инерционного термоядерного синтеза.....	165

CONTENTS

**Problems of celestial mechanics and dynamics of stellar systems**

<i>Shukirgaliyev B.T., Panamarev T.P., Abdurakhmanov S.G., Makukov M.A., Omarov Ch.T.</i> Effect of accretion disc profile on the dynamics of active galactic nuclei.....	5
<i>Gaisina V., Denissiyuk E., Valiullin R.</i> Pobiddenemission lints in the spectra of seyfert galaxies.....	12
<i>Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Tkachenko A.S.</i> Phase shifts analysis of protons elastic scattering on $^{16}\text{O}$ . I.....	22
<i>Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Tkachenko A.S.</i> Phase shifts analysis of protons elastic scattering on $^{16}\text{O}$ . II.....	28
<i>Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Tkachenko A.S.</i> Phase shifts analysis of protons elastic scattering on $^{16}\text{O}$ . III.....	33

**Investigation of stars and nebulae**

<i>Kondratyeva L., Rspaev F., Aimuratov E.</i> Results of the spectral and photometric observations of RS Ophiuchi.....	38
<i>Pavlova L.A.</i> The observing phenomena of the young stars activity.....	44
<i>Kusakin A., Khruslov A., Kokumbaeva R., Reva I.</i> For new long-period variable stars.....	49
<i>Kusakin A., Khruslov A., Kokumbaeva R., Reva I.</i> New red variable stars found in the northern sky variability survey.....	55

**Physics of sun and bodies of the Solar system**

<i>Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M.</i> Energy Spectra and Properties of Solar Energetic Particles.....	60
<i>Shestakova L., Demchenko B.</i> Observations of the radial velocities of dust during Solar eclipses 29.03.2006 and 01.08.2008.....	64
<i>Shestakova L., Demchenko B.</i> Model of distribution of circumsolar dust according the radial-velocity observations during Solar eclipses.....	73
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> The study of metan-ammonium absorption on Jupiter in season of 2015 visibility. I. Equatorial area.....	82
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> The study of metan-ammonium absorption on Jupiter in season of 2015 visibility. II. Equatorial belts and Tropical zones.....	87
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> The study of metan-ammonium absorption on Jupiter in season of 2015 visibility. III. Central Meridian.....	91
<i>Karimov A.M., Lyssenro P.G., Tejfel V.G.</i> Saturn in 2014 – latitudinal variations of molecular absorption.....	96
<i>Tejfel V.G., Karimov A.M., Bondarenko N.N., Kharitonova G.A.</i> The evidences of latitudinal asymmetry of the ammonia absorption on Saturn.....	102
<i>Didenko A.V., Usoltzeva L.A.</i> List of photometric standards for observing of optically faint geo debris and photometric system of 1-m telescope with the CCD.....	109
<i>Krugov M.A., Lichkanovsky N.V., Tereschenko V.M.</i> The two-channel seven-color CCD photometer.....	115
<i>Didenko A., Komarov A., Tereschenko V.</i> The photometrical calibration of visual channel of seven-color photometer.....	120

**Theoretical and experimental researches**

<i>Assanova A.T., Imanchiev A.E.</i> On the unique solvability of a multi-point boundary value problem for a third-order differential equation.....	124
<i>Akhmetova A.M., Nuganova S.A.</i> Analysis of information security tools with public key.....	133
<i>Bastykova N.Kh., Kodanova S.K., Ramazanov T.S., Maiorov S.A.</i> The dust dynamics in the edge of fusion plasma.....	140
<i>Boos E.G., Temiraliyev T., Izbasarov M., Samoilov V.V., Tursunov R.A., Fedosimova A.I.</i> correlation of sphericity and energy, transferred to charged mesons, in antiproton-proton interactions at 32 GeV/c.....	145
<i>Boshkayev K.A., Suleymanova Sh.S., Aimuratov Ye.K., Zhami B.A., Toktarbay S., Taukenova A.S., Kalymova Zh.A.</i> Correspondence of the Kerr and Hartle-Thorne metrics.....	151
<i>Issadykov A.N., Ivanov M.A., Zhaugasheva S.A., Nurbakova G.S., Mukushev B.A.</i> Calculation of decay widths for $K_0^*(800)$ and $f_0(980)$ scalar mesons in covariant quark model.....	159
<i>Kodanova S.K., Ramazanov T.S., Issanov M.K.</i> Energetic characteristics of ions in inertial confinement fusion dense plasma.....	165