

**Е.О. Шаленов<sup>1\*</sup>**, **Ж. Косымкызы<sup>1</sup>**, **М.М. Сейсембаева<sup>1</sup>**,  
**М.У. Машеева<sup>1</sup>**, **М.Н. Джумагулов<sup>2</sup>**, **К.Н. Джумагулова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
 Казахстан, г. Алматы, \*e-mail: shalenov.erik@physics.kz

<sup>2</sup>Научно-технический центр безопасности ядерных технологий, Казахстан, г. Алматы

## **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РАССЕЙЯНИЯ ЧАСТИЦ ПЛОТНОЙ КВАЗИКЛАССИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА БОРНА**

В данной работе представлены результаты исследования столкновительных свойств плотной квазиклассической плазмы на основе эффективных потенциалов взаимодействия, учитывающих квантовомеханический эффект дифракции и эффект динамической экранировки. Сделано сравнение с данными, полученными на основе статических потенциалов взаимодействия, сформулированы выводы о влиянии динамической экранировки на столкновительные процессы. Исследование свойств плотной квазиклассической плазмы затруднено, во-первых, из-за неадекватности выбора моделей взаимодействия частиц и, во-вторых, несовершенством существующих теоретических методов для исследования свойств таких систем. Столкновительные процессы определяют практически все свойства плазмы, ее состав, термодинамику, транспортные характеристики, электродинамические свойства и т.д. Поэтому особенно важно уметь на уровне элементарных процессов корректно и достоверно проводить исследования. Традиционно, исследование элементарных процессов в рамках определенной модели начинается с получения сечений упругого рассеяния, при этом первые оценки можно проводить на основе простых методов, к которым относится метод Борна. Сечения столкновений напрямую зависят от значения относительной скорости сталкивающихся частиц, она сидит в самих уравнениях, позволяющих рассчитать сечение, но при этом в большинстве случаев не учитывается зависимость потенциала взаимодействия от этой скорости. Такая постановка не совсем корректна и более последовательным является применение динамического потенциала взаимодействия частиц при исследовании их столкновений. Обнаружено, что на угле рассеяния, близком нулю, дифференциальное сечение имеет конечное значение, зависящее от величины волнового вектора налетающей частицы (ее энергии), в то время как модели со статической экранировкой этого не показывали. Сделаны выводы.

**Ключевые слова:** дифференциальные сечения рассеяния, динамический потенциал взаимодействия, плотная квазиклассическая плазма, метод Борна, динамическая экранировка.

E.O. Shalenov<sup>1\*</sup>, Zh. Kossymkyzy<sup>1</sup>, M.M. Seisembayeva<sup>1</sup>,  
 M.U. Masheyeva<sup>1</sup>, M.N. Jumagulov<sup>2</sup>, K.N. Dzhumagulova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IETP, al-Farabi Kazakh national university, Kazakhstan, Almaty,  
 \*e-mail: shalenov.erik@physics.kz

<sup>2</sup>Nuclear technology safety center, Kazakhstan, Almaty

### **Differential scattering cross section of the dense semiclassical plasma based on the Born method**

In this work the results of investigation of collisional properties of the dense semiclassical plasma on the basis of the effective interaction potentials are presented. Interaction model stake into account the quantum-mechanical effects of diffraction and the effect of dynamic screening. It is shown that dynamic charge screening increases the phase shifts and the scattering cross sections in comparison with static one. The study of the properties of the dense semiclassical plasma is difficult, firstly, because of the inadequacy of the choice of particle interaction models and, secondly, the imperfection of the existing theoretical methods to study the properties of such complex systems. Collisional processes determine practically all properties of the plasma, its composition, thermodynamics, transport characteristics, electrodynamic properties, etc. Therefore, it is especially important to be able to conduct research correctly and reliably at the level of elementary processes. Traditionally, the study of

elementary processes within a particular model begins with obtaining cross sections for elastic scattering, with the first estimates can and should be carried out on the basis of simple methods, to which the Born method applies. The collision cross sections directly depend on the relative velocity of the colliding particles, it sits in the equations themselves, which allow the cross section to be calculated, but in most cases the interaction potential does not take into account this velocity. Such formulation is not entirely correct and more consistent is the use of the dynamic potential of the interaction of particles in the study of their collisions. It was found that at the scattering angle that is close to zero the differential cross section has a finite value which depends on the wave vector of the incident particle (its energy), while the model with static screening does not show it. Conclusions were made.

**Key words:** differential scattering cross section, the dynamic interaction potential, dense semiclassical plasma, Born method, dynamic screening.

Е.О. Шаленов<sup>1,\*</sup>, Ж. Қосымқызы<sup>1</sup>, М.М. Сейсембаева<sup>1</sup>,  
М.У. Машеева<sup>1</sup>, М.Н. Жұмағұлов<sup>2</sup>, Қ.Н. Жұмағұлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ЭТФҒЗИ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,  
\*e-mail: shalenov.erik@physics.kz

<sup>2</sup>Ядролық технологиялар қауіпсіздігінің ғылыми-техникалық орталығы, Қазақстан, Алматы қ.

### Борн әдісі негізінде тығыз квазиклассикалық плазманың дифференциалды шашырау қималары

Бұл жұмыста тығыз квазиклассикалық плазманың эффективті әсерлесу потенциалдардың негізінде соқтығысу қасиеттерін есептеу нәтижелері көрсетілген. Бұл моделде дифракцияның кванттық-механикалық эффектілері және динамикалық экрандалу эффектісі ескеріледі. Нәтижелер статикалық әсерлесу потенциалдарының негізінде алынған мәліметтермен салыстырылды, осының негізінде динамикалық эффектілердің идеал емес плазманың соқтығысу процестеріне әсері туралы қорытынды жасалды. Тығыз квазиклассикалық плазманың қасиеттерін зерттеу қиындық туғызады, біріншіден, бөлшектердің өзара әрекеттесу модельдерін таңдаудың оңай еместігінен және екіншіден, мұндай жүйелердің қасиеттерін зерттеу үшін қолданыстағы теориялық әдістердің жетілмеуінен қиынға соғады. Соқтығысу процестері плазманың барлық қасиеттерін, оның құрамын, термодинамикасын, транспорттық сипаттамаларын, электродинамикалық қасиеттерін және т. б. анықтайды. Дәстүрлі түрде белгілі бір модель шеңберінде қарапайым процестерді зерттеу серпімді шашырау қимасын алудан басталады, бұл ретте алғашқы бағалауды Борн әдісі жататын қарапайым әдістердің негізінде жүргізуге болады және жүргізу қажет. Сондықтан зерттеуді элементар процестер деңгейінде дұрыс және шынайы жүргізе білу өте маңызды. Дәстүрлі түрде белгілі бір модель шеңберінде элементар процестерді зерттеу серпімді шашырау қимасын алудан басталады, бұл ретте алғашқы бағалауды Борн әдісі жататын қарапайым әдістердің негізінде жүргізуге болады және жүргізу қажет. Соқтығысулардың қималары соқтығысатын бөлшектердің салыстырмалы жылдамдығының мәніне тікелей байланысты, ол қиманы есептеуге мүмкіндік беретін теңдеулердің өзінде болады, бірақ көп жағдайларда өзара әрекеттесудің жылдамдыққа тәуелділігі ескерілмейді. Мұндай қойылым мүлдем дұрыс емес және олардың соқтығысуын зерттеу кезінде бөлшектердің өзара әрекеттесуінің динамикалық қасиеттерін қолдану дәйекті болып табылады. Нөлге жуық шашырау бұрышында ұшып келе жатқан бөлшектің толқындық векторы шамасына байланысты дифференциалдық қиманың шамасы шекті мәнге ие болатындығы байқалды. Бұл жағдай статистикалық экрандалу үлгілерінде байқалады. Қорытынды жасалды.

**Түйін сөздер:** дифференциалды шашырау қимасы, динамикалық әсерлесу потенциалы, тығыз квазиклассикалық плазма, Борн әдісі, динамикалық экрандалу.

### Введение

В настоящее время физика плазмы является интенсивно развивающейся областью знаний. Плазма является наиболее распространенным состоянием вещества во Вселенной. Интерес к ней колоссально возрос после того, как человечество осознало, что стоит перед глобальной

проблемой истощения традиционных ископаемых топливных ресурсов. Поэтому для устойчивого развития общества в перспективе надо развивать энергетику, которая будет использовать неограниченный ресурс, безопасный и достаточно чистый для экологии. Таким требованиям отвечают установки, реализующие управляемый термоядерный синтез. В связи с

этим, в последние десятилетия возникли крупные дорогостоящие проекты (например, ITER, NIF и др.), связанные с термоядерной энергетикой, позволяющей в большой степени решить перечисленные проблемы. Исследование различных свойств плотной плазмы представляет большой интерес, не только для множества практических приложений, но и для фундамен-

тальных теоретических исследований многих природных явлений, новых структур и свойств вещества.

Наиболее важными характеристиками плазмы являются температура и плотность заряженных частиц. На рисунке 1 приведены самые актуальные параметры плазмы в различных областях.

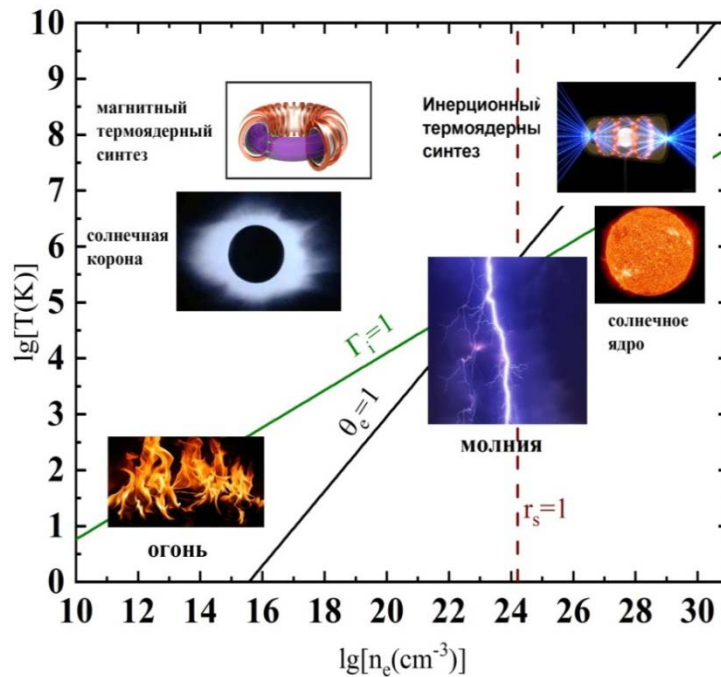


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости температуры от плотности плазмы

Имеется целый ряд космических объектов температуры, которых превышают миллионы градусов [1]. Такая плазма называется высокотемпературной. Большинство земных и космических объектов не превышают температуру десятка электрон - вольт. Если плотность заряженных частиц возрастает, постепенно возрастает роль взаимодействия частиц друг с другом. Описание взаимодействия частиц является одной из основных проблем при расчете физических свойств плазмы, таких как термодинамические, транспортные и оптические свойства [2-6]. Как известно, выбор потенциала взаимодействия играет очень большую роль для получения более точных данных, определяющих эти свойства. В плотной плазме должны учитываться коллективные эффекты экранировка и квантовые эффекты дифракции.

### Эффективный потенциал взаимодействия зарядов с ионами плотной квазиклассической плазмы

Разработка моделей взаимодействия структурных элементов плотной плазмы, методов математического моделирования и исследование на их основе кинетических, транспортных свойств системы представляют большой фундаментальный интерес и важна для развития технологий многих практических приложений, связанных с плотной плазмой.

Следует отметить, что в плотной плазме наряду с квантовыми эффектами надо учитывать коллективные эффекты. Но, как мы знаем потенциал Дебая – Хюккеля учитывает только эффект экранировки, в свою очередь потенциал Дойча принимает во внимание только кванто-

вый эффект дифракции. Учитывать эффекты квантовой дифракции и эффект экранировки очень важно. В связи с этим, авторами работ [7-9] получен псевдопотенциал, учитывающий, как квантовые эффекты дифракции, так и эффект экранировки. Указанный псевдопотенциал хорошо описывает транспортные и динамические свойства плазмы [10]:

$$\Phi_{ab} = \frac{Z_a Z_b e^2}{r C_{ab}} \{ \exp(-B_{ab} r) - \exp(-A_{ab} r) \}, \quad (1)$$

здесь  $A_{ab} = \frac{1+C_{ab}}{2\lambda_{ab}^2}, \quad B_{ab} = \frac{1-C_{ab}}{2\lambda_{ab}^2},$

$C_{ab} = 1 - \frac{4\lambda_{ab}^2}{r_D^2}, \quad \lambda_{ab} = h / \sqrt{2\pi\mu_{ab}k_B T}$  – тепловая

длина волны де-Бройля,

$r_D = \left\{ k_B T / \left( 4\pi e^2 \sum_j n_j Z_j^2 \right) \right\}^{1/2}$  – радиус Дебая,

здесь  $n_j$  – числовая плотность заряженных частиц сорта  $j$  в системе,  $T$  – температура плазмы,  $Z_a, Z_b$  – кратности зарядов взаимодействующих частиц,  $r$  – межчастичное расстояние,  $e$  – заряд электрона,  $\mu_{ab} = m_a m_b / (m_a + m_b)$  – приведенная масса  $a$  и  $b$  взаимодействующих частиц,  $h$  – постоянная Планка.

При изучении свойств плотной плазмы широко используется так называемый эффективный потенциал, который учитывает те или иные эффекты. Эффективный потенциал (1), который учитывает оба эффекта, отличается от Кулоновского потенциала тем, что он экранирован, и на больших расстояниях он стремится к нулю. Традиционная экранировка поля заряда представляется статической экранировкой Дебая – Хюккеля, полученной из уравнения Пуассона – Больцмана. Однако, это приближение справедливо, если скорости сталкивающихся частиц сравнимы или меньше тепловой скорости. Если же скорости превышают тепловую, то такие частицы при движении не успевают поляризовать среду и экранировка ослабевает. Такая экранировка, зависящая от скорости, носит название «динамическая экранировка». Построение новой модели сводится к замене статического радиуса Дебая на радиус динамической

экранировки, который учитывает динамическую экранировку [11-13].

$$r_0 = r_D \left( 1 + \frac{\mathcal{G}^2}{\mathcal{G}_{th}^2} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{G}$  – относительная скорость сталкивающихся частиц,  $\mathcal{G}_{th}$  – тепловая скорость частиц в системе. Применяв замену (2) в работе [14-23] получили эффективный потенциал с учетом динамической экранировки:

$$\Phi_{ab} = \frac{Z_a Z_b e^2}{r C_{ab}} \{ \exp(-B_{ab} r) - \exp(-A_{ab} r) \}, \quad (3)$$

где  $A_{ab} = \frac{1+C_{ab}}{2\lambda_{ab}^2}, B_{ab} = \frac{1-C_{ab}}{2\lambda_{ab}^2}, C_{ab} = 1 - \frac{4\lambda_{ab}^2}{r_0^2},$

### Дифференциальные сечения рассеяния

Формула для вычисления дифференциального сечения рассеяния в приближении Борна выглядит следующим образом [24-25]:

$$\frac{dQ_{ab}}{d\Omega} = \frac{4\pi\mu_{ab}^2}{\hbar^4} \left| \int \Phi_{ab}(r) e^{-i(\vec{k}-\vec{k}_0)\vec{r}} d\vec{r} \right|^2, \quad (4)$$

где  $\Phi_{ab}(r)$  – потенциал взаимодействия частиц,  $\vec{k}_0$  и  $\vec{k}$  – волновые векторы налетающей частицы до и после столкновения, при упругом рассеянии  $|\vec{k}_0| = |\vec{k}| = k$ ,  $d\Omega = 2\pi \sin \theta d\theta$  – телесный угол, в пределах которого происходит рассеяние,  $\theta$  – угол рассеяния, связанный с волновыми векторами следующим соотношением  $|\vec{k} - \vec{k}_0| = q = 2k \sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{2k^2 (1 - \cos \theta)}$ .

В приближении Борна дифференциальное сечение рассеяния электрона на заряженных частицах на основе потенциала Кулона имеет следующий вид:

$$\frac{dQ_{ei}}{d\Omega} = \frac{m_e e^4 Z^2}{(\hbar k)^4 (1 - \cos(\theta))^2}, \quad (5)$$

где  $\hbar k$  – импульс налетающей частицы.

Для потенциала Дебая – Хюккеля формулы для вычисления дифференциального сечения рассеяния электронов на заряженных частицах в приближении Борна имеют следующий вид:

$$\frac{dQ_{ei}}{d\Omega} = \frac{4m_e e^4 Z^2}{\hbar^4 [1/r_D^2 + 2k^2 (1 - \cos(\theta))]^2}. \quad (6)$$

Если сравнить (5) и (6) видно, что в пределе  $\theta \rightarrow 0$  сечение для потенциала Кулона расходится, а для потенциала Дебая – Хюккеля расходение снимается. Для потенциала Дойча дифференциальное сечения рассеяние электрона на заряженной частице в приближении Борна имеет следующий вид:

$$\frac{dQ_{ei}}{d\Omega} = \frac{m_e^2 e^4 Z^2}{\hbar^4 k^4 (1 - \cos(\theta))^2 [1 + 2\lambda_{ei}^2 k^2 (1 - \cos(\theta))]^2}, \quad (7)$$

здесь  $\lambda_{ab}$  – длина де – Бройля сорта частицы  $a$  и  $b$ . Для эффективной статической модели взаимо-

действия (1) были получены следующие формулы для дифференциального сечения рассеяния:

$$\frac{dQ_{ei}}{d\Omega} = \frac{4m_e^2 e^4 Z^2}{2\hbar^4 [1/r_0^2 + 2k^2 (1 - \cos(\theta)) + 4\lambda_{ei}^2 k^2 (1 - \cos(\theta))^2]^2}. \quad (8)$$

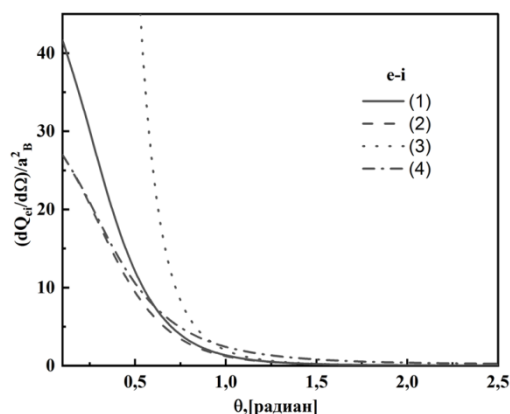
После использования метода Борна для вывода дифференциального сечения рассеяния электронов на заряженных частицах в рамках

динамической модели взаимодействия (3) были получены следующие формулы:

$$\frac{dQ_{ei}}{d\Omega} = \frac{4m_e^2 e^4 Z^2}{2\hbar^4 [1/r_D^2 + 2k^2 (1 - \cos(\theta)) + 4\lambda_{ei}^2 k^2 (1 - \cos(\theta))^2]^2}. \quad (9)$$

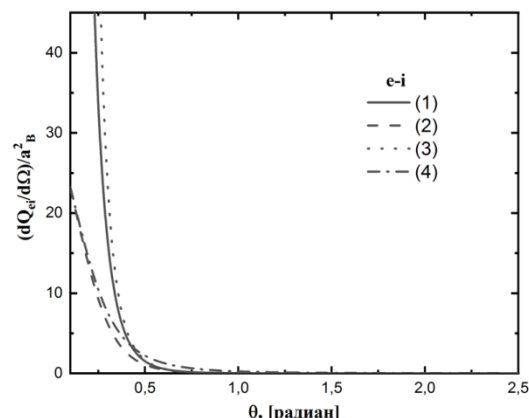
На рисунке 2 и 3 приведены сечения рассеяния, рассчитанные по формулам (6)-(9) при разных значениях величины волнового вектора. Видно, что сечение рассеяния, полученное на основе эффективного потенциала (1), имеет одно и то же конечное значение при угле рассеяния равным к нулю. Это объясняется тем, что экранировка в рамках модели (1) не зависит от скорости. Дифференциальное сечение на основе эффективного потенциала (3) на малых углах рассеяния имеет конечное значение,

зависящее от скорости налетающей частицы. Чем больше волновой вектор, тем сечения быстрее убывают с ростом угла рассеяния. Из рисунков видно, что при малых скоростях сталкивающихся частиц на малых углах рассеяния сечения имеет конечное значения, зависящее от энергии частицы, а при больших углах стремится к данным на основе потенциала Дойча (7). При увеличении скорости частиц результаты по динамическому потенциалу близки к данным, полученным на основе потенциала Дойча.



1 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала (3); 2 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала (1); 3 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала Дойча; 4 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала Дебая – Хюккеля.

**Рисунок 2**– Дифференциальное сечение рассеяния электрона на ионе,  $\Gamma = 1, r_S = 4, k = 1a_B^{-1}$



1 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала (3); 2 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала (1); 3 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала Дойча; 4 – сечения рассеяния, полученное на основе потенциала Дебая – Хюккеля.

**Рисунок 3**– Дифференциальное сечение рассеяния электрона на ионе,  $\Gamma = 1, r_S = 4, k = 2a_B^{-1}$

## Заключение

В данной работе на основе эффективных потенциалов взаимодействия, учитывающего корреляционные эффекты, проведено исследование элементарных процессов в плотной водородной плазме. В рамках эффективных потенциалов электрон–ионного взаимодействия в плотной плазме были исследованы дифференциальные сечения рассеяния частиц плазмы. Для расчета было использовано Борновское приближение. Анализ полученных результатов показал, что дифференциальные сечения рассеяния на

основе динамического потенциала при малых скоростях сталкивающихся частиц на малых углах рассеяния имеют конечное значение, зависящее от энергии налетающей частицы, а при больших углах стремятся к данным на основе потенциала Дойча, учитывающему квантовый эффект дифракции заряда. При увеличении скорости частиц результаты по динамическому потенциалу на всех углах рассеяния близки к данным, полученным на основе потенциала Дойча.

**Благодарность.** Работа была выполнена в рамках Гранта AP05132665 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

## Литература

- 1 Drake R.P. High-energy-density physics: fundamentals, inertial fusion and experimental astrophysics. — Berlin Heidelberg: Springer, 2006. — 484 p.
- 2 Dzhumagulova K.N., and Seisembayeva M.M. The investigation of electron capture radius hydrogen atom // Rec. Contr. Phys. — 2015. — Vol. 55(4). — P.12-18.
- 3 Seisembayeva M.M., Dzhumagulova K.N., and Ramazanov T.S. Investigation of the electron capture process in semiclassical plasma // Nukleonika. — 2016. — Vol. 61. — No. 2. — P. 201-205.
- 4 Ki D.-H., and Jung Y.-D. Formation of negative hydrogen ion: Polarization electron capture and nonthermal shielding // Jour. Chem. Phys. — 2012. — Vol. 137 (9). — P. 094310-(1-15).
- 5 Jung, Y.-D., and Akbari-Moghanjoughi M. Electron-exchange effects on the charge capture process in degenerate quantum plasmas. // Phys. Plasmas. — 2014. — Vol. 21. — P. 032108-(1-6).
- 6 Jung, Y.-D. Electron capture from one- and two-electron atoms by fast positrons in dense plasmas. // Phys. Plasmas. — 1997. — Vol. 4(1). — P.16-20.
- 7 Baimbetov F.B., Bekenov M.A., and Ramazanov T.S. The effective potential of a classical hydrogen plasma // Phys. Lett. A. — 1995. — Vol. 197. — P. 157-158.
- 8 Baimbetov F.B., Bekenov M.A., and Ramazanov T.S. Effective potential and transport properties of strongly coupled hydrogen plasma // Proceeding ICPSCP. — Binz, Germany, 1995. — 56 p.
- 9 Баимбетов Ф.Б., Рамазанов Т.С. Сечения рассеяния и транспортные свойства квазиклассической плазмы // В кн.: Физика и техника плазмы – Минск, 1994 – Т. 2. – С. 35-38.

- 10 Ramazanov T.S., and Dzhumagulova K.N. Electrical conductivity of a strongly coupled hydrogen plasma // *Phys. Plasmas*. – 2002. – Vol.9. – 3758 p.
- 11 Джумагулова К.Н., Габдуллина Г.Л., Шаленов Е.О. Динамические потенциалы взаимодействия частиц квазиклассической плазмы // *Rec. Contr. Phys.* – 2012. – Vol. 4(43). – С.59-62.
- 12 Dzhumagulova K.N., Gabdullina G. L., and Shalenov E.O. Dynamic interaction potential and the scattering cross sections of the semiclassical plasma particles // *Phys. Plasmas*. – 2013. – Vol. 20. – 042702 p.
- 13 Dzhumagulova K.N., Shalenov E.O., and Gabdullina G.L. Influence of Ramsauer effect of the dense semiclassical plasmas // *Rec. Contr. Phys.* – 2015. – Vol. 55(3). – P. 18-24.
- 14 Dzhumagulova K.N., Shalenov E.O., and Ramazanov T.S. Elastic scattering of low energy electrons in partially ionized dense semiclassical plasma // *Phys. Plasmas*. – 2015. Vol.22. – 082120 p.
- 15 Dzhumagulova K.N., Shalenov E.O., Ramazanov T.S., and Gabdullina G.L. Phase shifts and scattering cross sections of the particles of nonideal semiclassical plasmas based on the dynamic interaction potential // *Contrib. Plasma Phys.* – 2015. – Vol. 57. – 230 p.
- 16 Shalenov E.O., Dzhumagulova K.N., and Ramazanov T.S. Scattering cross sections of the particles in the partially ionized dense nonideal plasmas // *Phys. Plasmas*. – 2017. – Vol.24. – 012101 p.
- 17 Shalenov E.O., Rosmej S., Reinholz H., Röpke G., Dzhumagulova K.N., and Ramazanov T.S. Optical reflectivity based on the effective interaction potentials of xenon plasma // *Contrib. Plasma Phys.* – 2017. – Vol.57. – 486 p.
- 18 Shalenov E.O., Dzhumagulova K.N., Reinholz H., Röpke G., and Ramazanov T.S. Dynamical conductivity of the dense semiclassical plasmas on the basis of the effective potential // *Phys. Plasmas*. – 2018. – Vol. 25. – 082706 p.
- 19 Shalenov E.O., Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Röpke G., and Reinholz H. Influence of dynamic screening on the conductivity of hydrogen plasma including electron–electron collisions // *Contrib. Plasma Phys.* – 2019; e201900024. – P. 1-6.
- 20 Шаленов Е.О., Сейсембаева М.М., Джумагулова К.Н., Машеева Р. У. Сечения захвата электрона разными атомами на основе теории возмущений // *Rec. Contr. Phys.* – 2019. – Vol. 69(2). – С. 88-92.
- 21 Shalenov E.O., Seisembayeva M.M., Dzhumagulova K.N., and Ramazanov T.S. Kinetic ionization and recombination coefficients in the dense semiclassical plasmas on the basis of the effective interaction potential // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2019. – Vol. 1400. – P. 077035-(1-6).
- 22 Shalenov E.O., Seisembayeva M.M., Dzhumagulova K.N., and Ramazanov T.S. Effect of dynamic screening on the electron capture process in nonideal plasma // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2019. – Vol. 1385. – P. 012031-(1-7).
- 23 Shalenov E.O., Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S. and Gabdullina G.L. Influence of dynamic screening on the scattering cross sections of the particles in the dense nonideal plasmas of noble gases // *Int. J. Math. Phys.* – 2016. – Vol. 7(1). – 131 p.
- 24 Джумагулова К.Н., Габдуллина Г.Л., Шаленов Е.О. Дифференциальные сечения рассеяния электронов квазиклассической плазмы с учетом динамической экранировки // *Известия НАН РК. Серия физ.-мат.* – 2013. – № 2. – С. 65-70.
- 25 Shalenov E.O., Dzhumagulova K.N., and Ramazanov T.S. Investigation of the excitation of the internal states of hydrogen atom // *Rec. Contr. Phys.* – 2017. – Vol. 62(3). – P. 26-33.

## References

- 1 R.P. Drake, *High-energy-density physics: fundamentals, inertial fusion and experimental astrophysics* (Berlin Heidelberg, Springer, 2006), 484 p.
- 2 K.N.Dzhumagulova, and M.M.Seisembayeva, *Rec. Contr. Phys.* 55(4), 12-18 (2015). (in Russ).
- 3 M.M.Seisembayeva, K.N.Dzhumagulova, and T.S.Ramazanov, *Nukleonika* 61(2), 201-205 (2016).
- 4 D.-H.Ki, and Y.-D.Jung, *Jour. Chem. Phys.* 137(9), 094310 (2012).
- 5 Y.-D.Jung, and M.Akbari-Moghanjoughi, *Phys. Plasmas*. 21, 032108 (2014).
- 6 Y.-D.Jung, *Phys. Plasmas*. 4(1), 16-20 (1997).
- 7 F.B.Baimbetov, M.A.Bekenov, and T.S.Ramazanov, *Phys. Lett. A*. 197, 157-158 (1995).
- 8 F.B.Baimbetov, M.A.Bekenov, and T.S.Ramazanov, *Proceeding ICPSCP*, 56 (1995).
- 9 F.B.Baimbetov, and T.S.Ramazanov, *TVT*. 2, 35-38 (1994). (in Russ).
- 10 T.S.Ramazanov, and K.N.Dzhumagulova, *Phys. Plasmas*. 9, 3758 (2002).
- 11 K.N.Dzhumagulova, G.L.Gabdullina and E.O.Shalenov, *Rec. Contr. Phys.* 4(43), 59-62 (2012). (in Russ).
- 12 K.N.Dzhumagulova, G.L.Gabdullina, and E.O.Shalenov, *Phys. Plasmas*. 20, 042702 (2013).
- 13 K.N.Dzhumagulova, E.O.Shalenov, and G.L.Gabdullina, *Rec. Contr. Phys.* 55(3), 18-24 (2015). (in Russ).
- 14 K.N.Dzhumagulova, E.O.Shalenov, and T.S.Ramazanov, *Phys. Plasmas*. 22, 082120 (2015).
- 15 K.N.Dzhumagulova, E.O.Shalenov, T.S.Ramazanov, and G.L.Gabdullina, *Contrib. Plasma Phys.* 57, 230 (2015).
- 16 E.O.Shalenov, K.N.Dzhumagulova, and T.S.Ramazanov, *Phys. Plasmas*. 24, 012101 (2017).
- 17 E.O.Shalenov, S.Rosmej, H.Reinholz, G.Röpke, K.N.Dzhumagulova, and T.S. Ramazanov, *Contrib. Plasma Phys.* 57, 486 (2017).
- 18 E.O.Shalenov, K.N.Dzhumagulova, H.Reinholz, G.Röpke, and T.S.Ramazanov, *Phys. Plasmas*. 25, 082706 (2018).
- 19 E.O.Shalenov, K.N.Dzhumagulova, T.S.Ramazanov, G.Röpke, and H.Reinholz, *Contrib. Plasma Phys.* e201900024, (2019).
- 20 E.O.Shalenov, M.M.Seisembayeva, K.N.Dzhumagulova, and R.U.Maheyeva, *Rec. Contr. Phys.* 69(2), 88-92 (2019). (in Russ).
- 21 E.O.Shalenov, M.M.Seisembayeva, K.N.Dzhumagulova, and T.S.Ramazanov, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1400, 077035 (2019).
- 22 E.O.Shalenov, M.M.Seisembayeva, K.N.Dzhumagulova, and T.S.Ramazanov, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1385, 012031 (2019).
- 23 E.O.Shalenov, K.N.Dzhumagulova, T.S. Ramazanov and G.L.Gabdullina, *Int. J. Math. Phys.* 7(1), 131 (2016).
- 24 K.N.Dzhumagulova, G.L.Gabdullina, and E.O.Shalenov, *NewsNASRK. Phys.-math. ser.* 2, 65-70 (2013). (in Russ).
- 25 E.O.Shalenov, K.N.Dzhumagulova, and T.S.Ramazanov, *Rec. Contr. Phys.* 62(3), 26-33 (2017). (in Russ).