

ISSN 2224-5227

2015 • 5

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ЖУРНАЛ 1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1944 г.
PUBLISHED SINCE 1944



Б а с р е д а к т о р
ҚР ҰҒА академигі **М.Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әдекенов С.М.** (бас редактордың орынбасары), эк.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әділов Ж.М.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Арзықұлов Ж.А.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Бишімбаев У.К.**, а.-ш.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Есполов Т.И.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұтанов Г.М.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**, пед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Пралиев С.Ж.**, геогр.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Северский И.В.**; тарих.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Сыдықов Е.Б.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбүсейітова М.Х.**, экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА корр. мүшесі **Бейсембетов И.К.**, биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жамбакин К.Ж.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Кәрібаев Б.Б.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Локшин В.Н.**, геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірсеріков М.Ш.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Садыбеков М.А.**, хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сатаев М.И.**; ҚР ҰҒА құрметті мүшесі, а.-ш.ғ. докторы, проф. **Омбаев А.М.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина), Украинаның ҰҒА академигі **Неклюдов И.М.** (Украина), Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **Гордиенко А.И.** (Беларусь), Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Дука Г.** (Молдова), Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Илолов М.И.** (Тәжікстан), Қырғыз Республикасының ҰҒА академигі **Эркебаев А.Э.** (Қырғызстан), Ресей ҒА корр.мүшесі **Величкин В.И.** (Ресей Федерациясы); хим.ғ. докторы, профессор **Марек Сикорски** (Польша), тех.ғ. докторы, профессор **Потапов В.А.** (Украина), биол.ғ. докторы, профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КХР), филос. ғ. докторы, профессор **Стефано Перни** (Ұлыбритания), ғ. докторы, профессор **Богуслава Леска** (Польша), философия ғ. докторы, профессор **Полина Прокопович** (Ұлыбритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **Нараев В.Н.** (Ресей Федерациясы)

Главный редактор
академик НАН РК **М.Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Адекенов** (заместитель главного редактора), доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **Ж.М. Адилов**, доктор мед. наук, проф., академик НАН РК **Ж.А. Арзыкулов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **В.К. Бишимбаев**, доктор сельскохозяйств. наук, проф., академик НАН РК **Т.И. Есполов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Г.М. Мутанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**, доктор пед. наук, проф., академик НАН РК **С.Ж. Пралиев**, доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК **И.В. Северский**, доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **Е.Б. Сыдыков**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Х. Абусеитова**, доктор экон. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И.К. Бейсембетов**, доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **К.Ж. Жамбакин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Б. Карибаев**, доктор мед. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Локшин**, доктор геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Ш. Омирсериков**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.А. Садыбеков**, доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.И. Сатаев**; почетный член НАН РК, доктор сельскохозяйств. наук, проф., **А.М. Омбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **Гончарук В.В.** (Украина), академик НАН Украины **И.М. Неклюдов** (Украина), академик НАН Республики Беларусь **А.И. Гордиенко** (Беларусь), академик НАН Республики Молдова **Г. Дука** (Молдова), академик НАН Республики Таджикистан **М.И. Илолов** (Таджикистан), член-корреспондент РАН **Величкин В.И.** (Россия); академик НАН Кыргызской Республики **А.Э. Эркебаев** (Кыргызстан), д.х.н., профессор **Марек Сикорски** (Польша), д.т.н., профессор **В.А. Потапов** (Украина), д.б.н., профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КНР), доктор философии, профессор **Стефано Перни** (Великобритания), доктор наук, профессор **Богуслава Леска** (Польша), доктор философии, профессор **Полина Прокопович** (Великобритания), профессор **Вуйчик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **В.Н. Нараев** (Россия)

«Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан» ISSN 2224-5227

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5540-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год. Тираж: 3000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г.Алматы, ул.Шевченко, 28, ком.218-220, тел. 272-13-19, 272-13-18

<http://nauka-nanrk.kz>, reports-science.kz

Адрес типографии: ИП «Аруна», г.Алматы, ул.Муратбаева, 75

©Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015 г.

Editor-in-chief

M.Zh. Zhurinov, academician of NAS RK

Editorial board:

S.M. Adekenov (deputy editor in chief), Doctor of Chemistry, prof., academician of NAS RK; **Zh.M. Adilov**, Doctor of Economics, prof., academician of NAS RK; **Zh.A. Arzykulov**, Doctor of Medicine, prof., academician of NAS RK; **V.K. Bishimbayev**, Doctor of Engineering, prof., academician of NAS RK; **T.I. Yespolov**, Doctor of Agriculture, prof., academician of NAS RK; **G.M. Mutanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.Zh. Praliyev**, Doctor of Education, prof., academician of NAS RK; **I.V. Seversky**, Doctor of Geography, prof., academician of NAS RK; **Ye.B. Sydykov**, Doctor of Historical Sciences, prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.Kh. Abuseitova**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **I.K. Beisembetov**, Doctor of Economics, prof., corr. member of NAS RK; **K.Zh. Zhambakin**, Doctor of Biological Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **B.B. Karibayev**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Lokshin**, Doctor of Medicine, prof., corr. member of NAS RK; **M.Sh. Omirserikov**, Doctor of Geology and Mineralogy, prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.A. Sadybekov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.I. Satayev**, Doctor of Chemistry, prof., corr. member of NAS RK; **A.M. Ombayev**, Honorary Member of NAS RK, Doctor of Agriculture, prof.

Editorial staff:

V.V. Goncharuk, NAS Ukraine academician (Ukraine); **I.M. Neklyudov**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.I. Gordienko**, NAS RB academician (Belarus); **G. Duca**, NAS Moldova academician (Moldova); **M.I. Iolov**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **A.E. Erkebayev**, NAS Kyrgyzstan academician (Kyrgyzstan); **V.I. Velichkin**, RAS corr.member (Russia); **Marek Sikorski**, Doctor of Chemistry, prof. (Poland); **V.A. Potapov**, Doctor of Engineering, prof. (Ukraine); **Harun Parlar**, Doctor of Biological Sciences, prof. (Germany); **Gao Endzhun**, prof. (PRC); **Stefano Perni**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Boguslava Leska**, dr, prof. (Poland); **Pauline Prokopovich**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Wójcik Waldemar**, prof. (Poland), **Nur Izura Udzir**, prof. (Malaysia), **V.N. Narayev**, Doctor of Chemistry, prof. (Russia)

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2224-5227

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5540-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of.219-220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz> / reports-science.kz

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

UDC 533.9.01

ABSORPTION CROSS SECTIONS OF PROTONS AND ELECTRONS BY A POLARIZABLE DUST PARTICLE IN A PLASMA

A.E. Davletov*, L.T. Yerimbetova, A. Kisan, Ye.S. Mukhametkarimov

al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

askar@physics.kz

Key words: dusty plasma, absorption cross sections, the orbital motion limited approximation.

Abstract. In dusty plasmas one of the most important characteristics of micron-sized particles, called dust grains, is their electrical charge that can reach tens or even thousands of the elementary. The electric charge of a dust can be calculated in the standard version of the orbital motion limited approximation in which it is believed that the interaction of plasma electrons and ions with the dust particle is purely Coulomb. In this paper, it is proposed to take into account the polarization effects, which can be done, in particular, using the charge image method. This means that the dust particles are made of conductive material, however, the polarization effects will affect the charge of the dust particle, regardless of the material from which they are made. Absorption cross sections of electrons and ions by a dust particle are calculated and their dependence is investigated on the charge of the dust particle and the plasma coupling parameter.

УДК 533.9.01

СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПРОТОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ ПОЛЯРИЗУЕМОЙ ПЫЛЕВОЙ ЧАСТИЦЕЙ В ПЛАЗМЕ

А.Е. Давлетов, Л.Т. Еримбетова, А. Кисан, Е.С. Мухаметкаримов

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Ключевые слова: пылевая плазма, сечение поглощения, приближение ограниченного орбитального движения.

Аннотация. В пылевой плазме одной из самых важных характеристик частиц микронного размера, называемых пылинками, является их электрический заряд, который может достигать десятков и даже тысяч элементарных. Электрический заряд пылинки можно рассчитать в стандартной версии приближения ограниченного орбитального движения, в котором считается, что взаимодействие электронов и ионов плазмы с пылевой частицей является чисто кулоновским. В данной работе предлагается учитывать еще и эффекты поляризации, что может быть сделано, в частности, использованием метода электростатических изображений. Это подразумевает, что пылинки изготовлены из проводника, тем не менее, поляризационные эффекты будут сказываться на заряде пылевых частиц вне зависимости от материала, из которого они изготовлены. Рассчитаны сечения поглощения электронов и ионов пылевой частицей и исследована их зависимость от заряда пылинки и параметра связи плазмы.

Введение. В пылевой плазме одной из самых важных характеристик частиц микронного размера, называемых пылинками, является их электрический заряд, который может достигать десятков и даже тысяч элементарных [1]. Это обычно приводит к тому, что пылевая компонента плазмы является сильно неидеальной системой, в которой средняя потенциальная энергия взаимодействия порядка или превышает тепловую энергию [2]. В такой ситуации вполне очевидно, что физически значимые свойства

пылевой компоненты полностью определяются потенциальной энергией взаимодействия пылинок, которая в значительной степени зависит от их заряда [3].

При обычных условиях пылевые частицы, помещенные в плазменную среду, приобретают отрицательный электрический заряд [4]. Это объясняется тем, что в начальный момент времени поток электронов плазмы на поверхность пылинки значительно превышает поток ионов, так как соответствующие подвижности сильно различаются по порядку величины. Постепенно заряжаясь, пылевая частица начинает отталкивать электроны и притягивать ионы, что в конце концов приводит к обращению суммарного потока заряда на поверхность пылинки в ноль. Этим условием и определяется установившийся равновесный заряд пылевых частиц, который может быть вычислен, например, в так называемом приближении ограниченного орбитального движения [5].

В стандартной версии приближения ограниченного орбитального движения считается [6], что взаимодействие электронов и ионов плазмы с пылевой частицей является чисто кулоновским. В данной работе предлагается учитывать еще и эффекты поляризации, что может быть сделано, в частности, использованием метода электростатических изображений [7]. Это не подразумевает, что пылинки изготовлены из проводника, так как поляризационные эффекты будут сказываться на заряде пылевых частиц вне зависимости от материала, из которого они изготовлены.

Параметры плазмы

В работе рассматривается буферная плазма с концентрацией электронов n_e и протонов $n_p = n_e = n$, в которую помещена одна сферическая частица радиуса R , электрический заряд которой равен $-Z_d e$. Так как пылевая частица является уединенной, то она не влияет на нейтральность буферной плазмы, что приводит к выполнению условия $n_e = n_p = n$.

Состояние электронной компоненты буферной плазмы описывается параметром плотности:

$$r_s = \frac{a}{a_B}, \quad (1)$$

где $a = (3/4\pi n)^{1/3}$ – среднее расстояние между частицами, $a_B = h^2 / m_e e^2$ – первый боровский радиус, h – постоянная Планка, e – элементарный заряд.

Другой безразмерный параметр, описывающий состояние буферной плазмы, называется параметром неидеальности и определяется выражением:

$$G = \frac{e^2}{a k_B T}, \quad (2)$$

Где k_B – постоянная Больцмана, T – температура среды. Следует отметить, что параметр неидеальности (2) является общепринятым и представляет собой отношение средней кулоновской энергии взаимодействия электронов к их средней энергии хаотического теплового движения.

Для учета конечности размера пылевых частиц введем параметр

$$D = \frac{a}{R}. \quad (3)$$

который показывает во сколько раз среднее расстояние между частицами буферной плазмы меньше радиуса пылевой частицы.

Отметим, что для определения заряда пылевых частиц в классическом случае достаточно знания лишь одного параметра

$$\Gamma_R = \frac{e^2}{R k_B T} = D \Gamma. \quad (4)$$

Сечение поглощения протонов. Рассмотрим взаимодействие протона со сферической пылевой частицей, которая сделана из проводящего вещества. Для учета эффектов поляризации пылинки, определим потенциальную энергию взаимодействия с помощью метода электростатических изображений, который дает [7]:

$$U_{dp}(r) = -\frac{Z_d e^2}{r} - \frac{e^2 R^3}{2r^2(r^2 - R^2)}. \quad (5)$$

Рассмотрим процесс поглощения пылевой частицей протона с некоторой фиксированной энергией E и прицельным параметром ρ , который, как известно [8], в данном случае определяется эффективной потенциальной энергией

$$U_{dp}^{eff}(r, \rho, E) = -\frac{Z_d e^2}{r} - \frac{e^2 R^3}{2r^2(r^2 - R^2)} + E \frac{\rho^2}{r^2}. \quad (6)$$

При прицельном параметре $\rho = 0$, эффективная потенциальная энергия взаимодействия протона с пылевой частицей является монотонно возрастающей функцией расстояния между ними, всюду отрицательна и стремится к $-\infty$ при приближении протона к поверхности пылевой частицы. Такие протоны, очевидно, поглощаются пылинкой. При фиксированной энергии и увеличении прицельного параметра на кривой эффективной потенциальной энергии появляется максимум, величина которого растет с увеличением ρ . При малых значениях прицельного параметра протоны будут поглощаться пылевой частицей, но при некотором значении ρ_{dp} величина максимума эффективной потенциальной энергии сравняется с полной энергией протона и произойдет его отражение от этого максимума. Очевидно, что это значение ρ_{dp} и определяет сечение поглощения, равное $\sigma_{dp} = \pi \rho_{dp}^2$. Это продемонстрировано на рисунке 1, из которого видно, что протон с энергией $E/k_B T = 1$ и прицельными параметрами $\rho = 0$ и $\rho = 1$ поглощается пылевой частицей, а при прицельном параметре $\rho = 2$ – отражается. Значению $\rho \approx 1.6$ соответствует черная линия на рисунке 1, которая разделяет области поглощения и отражения протона пылевой частицей.

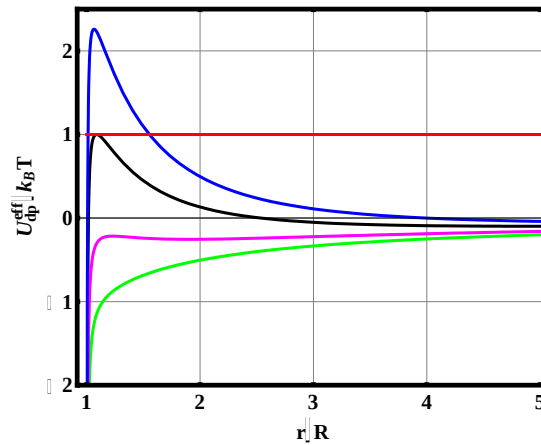


Рисунок 1 – Движение протона с полной энергией $E/k_B T = 1$ в центрально-симметричном поле пылевой частицы и разными значениями прицельного параметра при $\Gamma_R = 0.1$ и $Z_d = 10$. Зеленая линия: $\rho = 0$; пурпурная линия: $\rho = 1$; черная линия: $\rho \approx 1.6$ – соответствует критическому значению, при котором начинается отражение протона пылевой частицей; синяя линия: $\rho = 2$; красная линия: полная энергия частицы $E/k_B T = 1$.

Таким образом, ρ_{dp} находится из следующего условия

$$\max U_{dp}^{eff}(r, \rho_{dp}, E)_{r \geq R} = E. \quad (7)$$

Численное решение уравнения (7) выглядит следующим образом. При фиксированном значении энергии E надо найти такое $\rho = \rho_{dp}$, чтобы максимум на кривой эффективной потенциальной энергии (6) в точности был равен полной энергии E .

На рисунках 2 и 3 показаны зависимости сечения поглощения σ_{dp} от энергии налетающего протона при различных значениях заряда пылевых частиц и параметра связи плазмы Γ_R . Видно, что с увеличением заряда пылинки и параметра связи буферной плазмы сечение поглощения протонов возрастает.

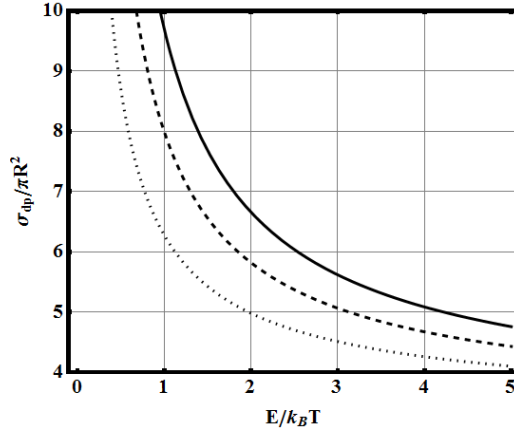


Рисунок 2 – Зависимость сечения поглощения протонов пылевой частицей от энергии налетающего протона при $\Gamma_R = 0.1$. Точечная линия: $Z_d = 5$; штриховая линия: $Z_d = 10$; сплошная линия: $Z_d = 15$.

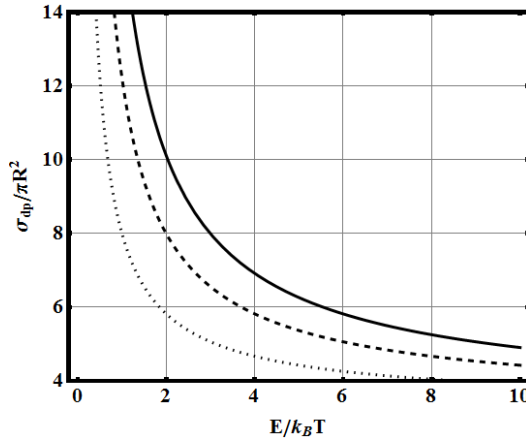


Рисунок 3 – Зависимость сечения поглощения протонов пылевой частицей от энергии налетающего протона при $Z_d = 10$. Точечная линия: $\Gamma_R = 0.1$; штриховая линия: $\Gamma_R = 0.2$; сплошная линия: $\Gamma_R = 0.3$.

Сечение поглощения электронов. Рассмотрим взаимодействие электрона со сферической пылевой частицей, которая сделана из проводящего вещества. Для учета эффектов поляризации пылевой частицы, определим потенциальную энергию взаимодействия с помощью метода электростатических изображений, который дает [см. 7]

$$U_{de}(r) = \frac{Z_d e^2}{r} - \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1} \right) \frac{e^2 R^3}{2r^2(r^2 - R^2)}. \quad (8)$$

Для взаимодействия электрона с пылевой частицей есть существенное отличие, которое состоит в том, что ввиду взаимного отталкивания поглощение возможно только при достижении критической энергии, определяемой выражением

$$E_c = \max U_{de}(r). \quad (9)$$

На рисунках 4 и 5 показана зависимость критической энергии от величины заряда пылевой частицы и параметра связи буферной плазмы. Обе зависимости являются практически линейными.

Рассмотрим процесс поглощения электрона с некоторой фиксированной энергией E и прицельным параметром ρ пылевой частицей, который в данном случае определяется эффективной потенциальной энергией

$$U_{dpe}^{eff}(r, \rho, E) = \frac{Z_d e^2}{r} - \frac{e^2 R^3}{2r^2(r^2 - R^2)} + E \frac{\rho^2}{r^2}. \quad (10)$$

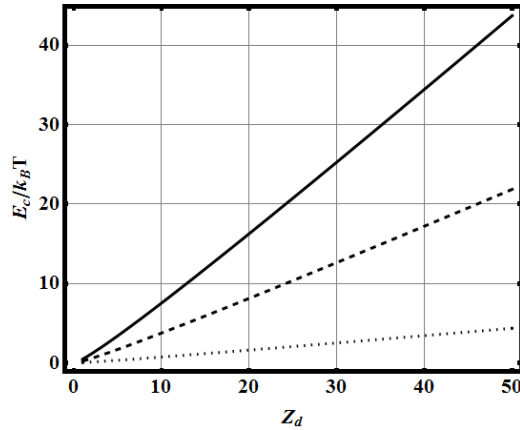


Рисунок 4 – Зависимость критической энергии электрона от заряда пылевой частицы. Точечная линия: $\Gamma_R=0.1$; штриховая линия: $\Gamma_R=0.5$; сплошная линия: $\Gamma_R=1.0$.

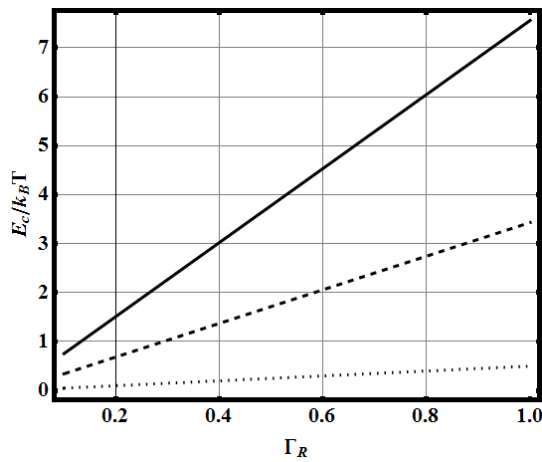


Рисунок 5 – Зависимость критической энергии электрона от параметра связи. Точечная линия: $Z_d=1$; штриховая линия: $Z_d=5$; сплошная линия: $Z_d=10$.

При прицельном параметре $\rho = 0$ электроны поглощаются пылевой частицей, только если они имеют энергию выше критической, так как на кривой потенциальной энергии имеется максимум. При фиксированной энергии величина максимума на кривой эффективной потенциальной энергии (10) растет с увеличением прицельного параметра ρ , а значит при некотором значении ρ_{de} произойдет отражении электрона от максимума. Это значение ρ_{de} и определяет сечение поглощения, равное $\sigma_{de} = \pi \rho_{de}^2$. Это продемонстрировано на рисунке 6, из которого видно, что электрон с энергией $E / k_B T = 5$ и прицельными параметрами $\rho = 0$ и $\rho = 0.5$ поглощается пылевой частицей, а при прицельном параметре $\rho = 1.4$ – отражается. Значению $\rho \approx 1$ соответствует черная линия на рисунке 6, которая разделяет области поглощения и отражения электрона пылевой частицей.

Таким образом, ρ_{de} находится из следующего условия

$$\max U_{de}^{eff}(r, \rho, E)_{r \geq R} = E. \quad (11)$$

Численное решение уравнения (11) выглядит следующим образом. При фиксированном значении энергии $E > E_c$ надо найти такое $\rho = \rho_{de}$, чтобы максимум на кривой эффективной потенциальной энергии (10) в точности был равен полной энергии E .

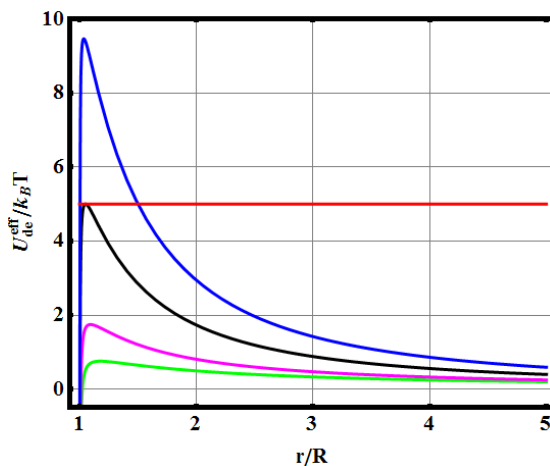


Рисунок 6 – Движение электрона с полной энергией $E/k_B T=5$ в центрально-симметричном поле пылевой частицы и разными значениями прицельного параметра при $\Gamma_R=0.1$ и $Z_d=10$. Зеленая линия: $\rho=0$; пурпурная линия: $\rho=0.5$; черная линия: $\rho \approx 1$ – соответствует критическому значению, при котором начинается отражение электрона пылевой частицей; синяя линия: $\rho=1.4$; красная линия: полная энергия частицы $E/k_B T=5$.

На рисунках 7 и 8 показаны зависимости сечения поглощения σ_{de} от энергии налетающего электрона при различных значениях заряда пылевых частиц и параметра связи плазмы Γ_R . Видно, что с увеличением заряда пылинки и уменьшения параметра связи буферной плазмы сечение поглощения протонов возрастает.

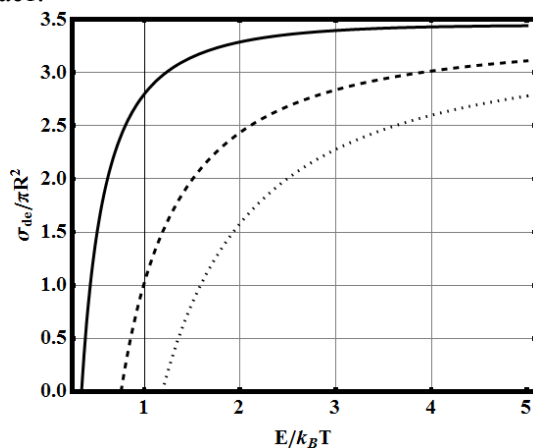


Рисунок 7 – Зависимость сечения поглощения электронов пылевой частицей от энергии налетающего протона при $\Gamma_R=0.1$. Точечная линия: $Z_d=5$; штриховая линия: $Z_d=10$; сплошная линия: $Z_d=15$.

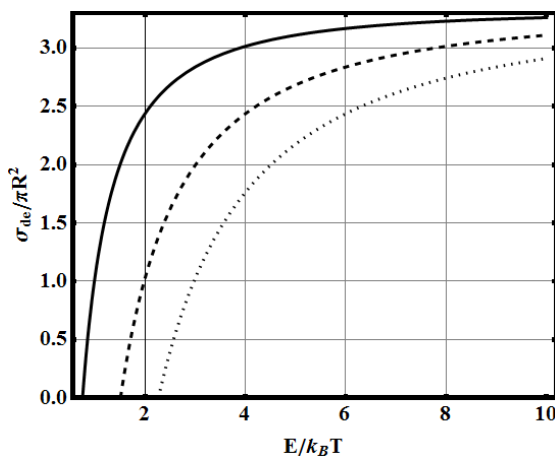


Рисунок 8 – Зависимость сечения поглощения электронов пылевой частицей от энергии налетающего протона при $Z_d=10$. Точечная линия: $\Gamma_R=0.3$; штриховая линия: $\Gamma_R=0.2$; сплошная линия: $\Gamma_R=0.1$.

Заклучения и выводы. В данной работе изучены сечения поглощения протонов и электронов плазмы помещенной в нее поляризуемой пылевой частицей. Рассмотрение ведется на основе метода ограниченного орбитального движения, который предполагает независимость движения плазменных частиц в электрическом поле заряженной пылинки. Продemonстрировано, что эффекты поляризации приводят к существенной модификации расчета по методу ограниченного орбитального движения.

Считается, что пылевая частица заряжена отрицательно, а это ведет к отталкиванию электронов и притяжению протонов плазмы. Как результат, поглощение электронов пылевой частицей происходит только при достижении ими некоторой критической энергии, линейно зависящей от заряда пылинки и параметра связи плазмы. Установлено, что сечения поглощения протонов и электронов пылевой частицей сильно зависят от ее заряда и параметра связи буферной плазмы. В частности, сечение поглощения протонов растет с увеличением заряда пылевой частицы и параметра связи плазмы, что объясняется их взаимным притяжением. Противоположная картина наблюдается для поглощения электронов, которые отталкиваются пылевой частицей.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК по программе грантового финансирования научных исследований, грант 3120/ГФ4.

REFERENCES

- [1] Piel A., Schmidt C. Dust charging and charge fluctuations in a weakly collisional radio-frequency sheath at low pressure, *Phys. Plasmas*, **2015**, Vol. 22, P. 053701(in Eng.).
- [2] Tolias P., Ratynskaia S., de Angelis U. Soft mran spherical approximation for dusty plasma liquids: One-component Yukawa systems with plasma shielding, *Phys. Rev. E*, **2014**, Vol. 90, P. 053101(in Eng.).
- [3] Khrapak S.A., Thomas H.M. Practical expressions for the internal energy and pressure of Yukawa fluids, *Phys. Rev. E*, **2015**, Vol. 90, P. 023108 (in Eng.).
- [4] Rizopoulou N., Robinson A.P.L., Coppins M., Bacharis M. Charging of large dust grains in flowing plasmas, *Phys. Rev. E*, **2015**, Vol. 91, P. 063103(in Eng.).
- [5] Benkadda S., Tsytoich V.N., Vladimirov S.V. *Phys. Rev. E*, **1999**, Vol. 60, P. 4708(in Eng.).
- [6] Fortov V.E., Khrapak A.G., Khrapak S.A., Molotkov V.I., Petrov O.F., Dusty plasmas, *Phys. Usp.*, Vol. 47, **2004**, P.447–492 (in Rus.).
- [7] Saranin V.A., Mayer V.V., Interaction of two charged conducting balls: theory and experiment, *Phys. Usp.*, Vol. 53, **2010**, P.1067–1074 (in Rus.);
- [8] Landau L.D., Lifschitz E.M., Theoretical physics, M. Nauka, Vol. 1 (Mechanics), 1988, P.216 (in Rus.).

ПЛАЗМАДАҒЫ ТОЗАНДЫ БӨЛШЕКТЕН ПОЛЯРИЗАЦИЯЛАНҒАН ЭЛЕКТРОНДАР МЕН ПРОТОНДАРДЫҢ ЖҰТЫЛУ ҚИМАСЫ

А.Е. Давлетов, Л.Т. Еримбетова, А. Кисан, Е.С. Мухаметкаримов
аль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Казахстан

Тірек сөздер: тозанды плазма, жұтылу қимасы, шектелген орбиталық қозғалыс жуықтауы.

Аннотация. Тозанды плазмадағы микрондық бөлшектердің ең негізгі сипаттамаларының бірі, мыңдаған элементар зарядына дейін жете алатын олардың электрлік заряды болып табылады. Осындай тозанды бөлшектердің электрлік зарядын шектелген орбиталық қозғалыс жуықтауы негізінде анықтауға болады. Аталған жуықтауда плазманың электрондары мен иондарының тозанды бөлшекпен әсерлесуі таза Кулондық деп есептелінеді. Бұл жұмыста электростатикалық кескін әдісін пайдаланып бөлшектердің әсерлесуінде қосымша поляризациялық эффектілерді де ескеру ұсынылады. Жұмыста тозанды бөлшектердің өткізгіштен жасалғанына қарамастан поляризациялық эффектілердің байқалатыны сипатталады. Электрондар мен иондардың тозанды бөлшектен жұтылу қималары есептелініп, олардың тозанды бөлшектің заряды мен плазманың байланыс параметріне тәуелділігі анықталады.

Сведения об авторах

А.Е. Давлетов, д.ф.-м.н., профессор КазНУ им. аль-Фараби, askar@physics.kz, +77078180900

Л.Е. Еримбетова, PhD докторант физико-технического факультета КазНУ им. аль-Фараби, 87078334546

А. Кисан, КазНУ им. аль-Фараби, Arshynbek.kissan@gmail.com, +77026836088

Е.С. Мухаметкаримов, Ph.D докторант КазНУ им. аль-Фараби, m.c.erzhan@mail.ru, +77071102700

Поступила 27.08.2015 г.

**PUBLICATION ETHICS AND PUBLICATION MALPRACTICE
IN THE JOURNALS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.reports-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т.А. Апендиев
Верстка на компьютере С.К. Досаевой

Подписано в печать 08.10.2015.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
14,2 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.