

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2021, том 134, №1, 55-62 беттер
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest_phys@enu.kz

ХҒТАР: 29.27.47

Г.Н. Шынықұлова, Ә.Б. Ашықбаева

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
(E-mail: gulnur.shynikulova@gmail.com)

Мезосфера биіктіктеріндегі тозаңды бөлшектерді қоршап тұрған әртүрлі газдардың зарядталуын салыстыру

Аннотация: берілген жұмыста ионосфера қабатындағы тозаңды бөлшектердің сыртын қоршап тұрған газдардың плазма бөлшектерімен әсерлесуі кезіндегі зарядталуы қарастырылған. Мезосфера биіктіктеріндегі ерекшеліктерге тоқталып, тозаңды бөлшектердің пайда болуына сипаттама берілді. Электрондар мен иондардың жылдамдықтар бойынша үлестірілуі үшін максвелдік үлестірілуі функциясы қолданылды, яғни плазма ортасы стационарлық күйде тұр деп есептелінді. Есептеулер 85 км биіктіктегі ионосфералық плазма үшін, температура 150°K , электрондар мен иондардың концентрациясы 10^{10} м^{-3} және иондардың жиілігі 10^5 с^{-1} деп жүргізілді. Алынған бөлшектердің барлығы сфералық, әрі өлшемдері бірдей. Тозаңдық бөлшектердің зарядталуын модельдеу мақсатында, OML теориясы пайдаланылды. Есептеулер нәтижесі бойынша, плазмалық бөлшектердің жылдамдықтарының максвелдік үлестірілу графигі салынды, сфералықтозаңды бөлшектердің бетіндегі әртүрлі газдар потенциалының электрондар мен иондардың температураларының қатынасына тәуелділігі анықталды.

Түйін сөздер: мезосфера, ионосфера, тозаңды плазма, максвелдік үлестірілу, OML теориясы, сфералық тозаңды бөлшек.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2021-134-1-55-62>

Түсті: 15.02.2021 /Жарияланымға рұқсат етілді: 05.03.2021

Кіріспе. Мезосфера биіктіктеріндегі метеор қалдықтарының тозаңды бөлшектері күрделі плазмалыққабатты құрайды. Тозаңды бөлшектердің осы биіктіктерде пайда болуы, эволюциясы және динамикасы, ионосфераға әсер етуі күрделі мәселенің бірі болып табылады. Жер атмосферасында метеор бөлшектері тежеліп, 70-120 км биіктікте жанады, нәтижесінде метеор заттардың буы конденсацияланады және ұсақ дисперсті нанобөлшектер құрайды. Алапат өрт немесе жанартау атқылауы нәтижесінде де төменгі атмосферадан нанобөлшектер мезосфера биіктіктеріне жетуі мүмкін. Метеор қалдықтары мен Жер бетіндегі алапаттардың әсерінен, 80-95 км биіктікте субмикронды және нано мөлшердегі бөлшектердің концентрациясының басым бөлігі шоғырланып, тозаңды қабат түзеді [1-12].

Бұл құбылыстарды көбіне мамыр айының аяғы мен тамыз айының соңына дейін бақылауға болады, осы мезгілдерде мезосфера биіктіктерінде қоршаған ауаның температурасы 150°K -ге дейін төмендейді, бұл жағдайлар су буына қоршалған ұсақ дисперсті бөлшектерінің көбейе бастауына әкеледі. Белгілі мөлшерге дейін өскен нанобөлшектер ионосфера қабатының иондалуына әсер етеді. Жазғы ионосфераның ерекшелігі ретінде екі құбылысты айтып кетуге болады. Оларды полярлық мезосфералық құбылыстар – «күмістелген бұлттар» және «полярлық мезосфералық радиошағылулар» (Polar Mesosphere Summer Echoes) деп атайды. «Күмістелген бұлттар» субмикронды өлшемді бөлшектерден тұрады, оның вертикальды оптикалық қалыңдығы бірден аз, ол 80-85 км биіктікте байқалады және күн батқаннан кейін көруге болады, ал «полярлық мезосфералық радиошағылулар» зарядталған нанобөлшектерден тұрады, әрі жиілігі 50-1000 МГц болатын радарлардан 85-95 км биіктікте елеулі радио шағылулар арқылы білінеді [1-12]. Сондықтан тозаңды мезосфера қабатын зерттеудіңғылыми және практикалық маңызы өте зор. Тозаңды қабатты зерттеудің негізгі бағыты, соңғы 100 жыл ішінде антропогендік факторлар әсерінен мезосфера қабатының

ұлғаюы, жоғарыдағы құбылыстар мен климаттың орасан өзгерісінің байланысында болып отыр [13-16]. Зарядталған тозаңды бөлшектер ионосфера қабатында өтетін физика-химиялық үрдістерге әсер етеді [17-18].

Жұмыстың мақсаты мезосфера биіктіктеріндегі тозаңды бөлшектердің зарядталуына сипаттама, зарядталу үрдісін анықтау. 85–95 км мезосфера биіктіктерінің құрамы: негізінен бұл биіктіктерде «қарапайым» Н, О, N, N₂, ОН, О₂, О₃, NO⁺ сияқты иондармен қатар, Н₃О⁺, Н₂О₅⁺, NO⁺(Н₂О)_n, NO⁺(СО₂)_n, сияқты иондық байланыстар да кездеседі. «Қарапайым» иондарға қарағанда иондық байланыстардың массалары ауыр болғандықтан, олар қозғалыссыз деп есептеледі, әрі зарядталу үрдісіне де әсері өте аз [19-24].

Негізгі бөлім және есептеулер нәтижелерін саралау. Бұл жұмысты есептеулер барысында мезосфера биіктіктерінде электрондардың жылдамдықтар бойынша үлестірілуін максвелдік деп қарастыру ұйғарылды.

Есептеулер 85 км биіктікте 150° К температурада және электрон мен ион концентрациясы 10¹⁰ м⁻³ ионосфералық плазма үшін жүргізілді. Сфералық тозаңды бөлшектердің барлығы бірдей өлшемді және бәрі шамамен 10 нм құрайды деп есептелінді.

Газды плазма ішіндегі тозаңды бөлшектердің зарядталуының сандық сипаттамасын алу үшін, әдетте, плазмадағы электрлік зондтардың теориясына негізделген теориялық модельдер қолданылады. Ең жиі қолданылатын модельдердің бірі - шектеулі орбиталық қозғалыстар (orbit motion limited (OML) theory) теориясы [1-7]. Берілген жуықтауды қолдану шарты бойынша $a \ll \lambda_D \ll l_{i(e)}$, мұндағы a – сфералық тозаңды бөлшектің өлшемі, λ_D – Дебай радиусы, $l_{i(e)}$ – еркін жол жүру ұзындығы. Осы шарттарға сәйкес, аталған модельді ионосфера биіктіктеріне де қолдануға болады.

Мезосфера биіктіктерінде плазма құрамы сирек, әрі тозаңды бөлшектердің концентрациясы да аз болғандықтан, тозаңды бөлшектердің басқа бөлшектерден оқшауланған деп есептейді, сондықтан қарастырылып отырған бөлшек аумағындағы электрондар мен иондардың қозғалысына басқа тозаңды бөлшектер әсер етпейді. Әрі осы аталған биіктіктерде эмиссиялық үрдістер болмаған жағдайда, тозаңды бөлшектердің заряды теріс, ол плазмадан электрондар мен иондар ағынының тозаңды бөлшекке бағытталғандығымен түсіндіріледі. Тозаң бетіне түскен электрондар мен иондар жұтылады және рекомбинациаланады, ал рекомбинация үрдісінен пайда болған нейтралды бөлшектер тозаңды бөлшек бетінде қалады не плазмаға қайтады. Электрондар массасы иондар массасынан едәуір жеңіл болғандықтан, иондар ағынына қарағанда электрондар ағыны нейтралды тозаңды бөлшектерге бірінші жетеді, нәтижесінде тозаңды нейтрал бөлшектер теріс зарядталады. Теріс зарядталған тозаңды бөлшектер өз кезегінде басқа жақындаған электрондарды тебіліске ұшыратып, иондарды тарта бастайды. Тозаңды бөлшектердің заряды электрондар мен иондар ағыны теңелгенше жалғасады, әрі осы жағдайда, тозаңды бөлшектердің потенциалдық энергиясы (1) формулада көрсетілген.

$$W_p = -\frac{eQ}{r} = \left| \varphi_s = \frac{Q}{r} \right| = -e\varphi_s \quad (1)$$

Ал кинетикалық энергиясы (2) формулада көрсетілген.

$$W_k = kT_a \quad (2)$$

Потенциалдық және кинетикалық энергиялары $W_p = W_k$ теңестіріле отырып, тозаңды бөлшектің беттік потенциалы анықталады (3 формула):

$$-e\varphi_s = kT_a \quad (3)$$

T_a – ($a = e, i$) электрондар мен иондардың температуралары, k – Больцман тұрақтысы. Больцман тұрақтысының шамасын энергетикалық бірлік бойынша 1-ге тең деп алғандықтан, тозаңды бөлшектің потенциалы мына түрге келеді:

$$\varphi_s = -\frac{T_e}{e} \quad (4)$$

Сонымен, тозаңды бөлшектердің потенциалы (4) формула бойынша анықталады, әрі барлық кинетикалық энергия потенциалдық энергияға ауысқанда не керісінше болғанда орындалады [1-8].

Сфералық тозаңды бөлшектер үшін электрондар мен иондар ағыны [1-3] төмендегі формуланы интегралдау бойынша анықталады:

$$I_{e(i)} = n_{e(i)} \int v \sigma_{e(i)}(v) f_{e(i)}(v) d^3v \quad (5)$$

мұндағы $n_{e(i)}$ – электрондар мен иондар концентрациясы, $\sigma_{e(i)}(v)$ – электрондар мен иондардың тозаңды бөлшектермен жұтылу қимасы, v – тозаңды бөлшектерге қатысты электрондар мен иондардың жылдамдығы, $f_{e(i)}(v)$ – стационар күй үшін плазмалық бөлшектердің жылдамдықтар бойынша максвелдік үлестірілу функциясы.

Энергия мен импульс моментінің сақталу заңдарын пайдалана отырып, әрі тозаңды бөлшектердің плазма бөлшектерімен соқтығысы серпімді деп есептей отырып, электрондар мен иондардың тозаңды бөлшектермен жұтылу қимасы анықталады [1-3]:

$$\sigma_e(v) = \begin{cases} \pi a^2 \left(1 + \frac{2e\varphi_s}{m_e v^2}\right), & \frac{2e\varphi_s}{m_e v^2} > -1 \\ 0, & \frac{2e\varphi_s}{m_e v^2} < -1 \end{cases} \quad (6)$$

$$\sigma_e(v) = \pi a^2 \left(1 - \frac{2e\varphi_s}{m_i v^2}\right) \quad (7)$$

мұндағы $m_{e(i)}$ – электрондар (иондар) массасы, ал v – электрондар мен иондардың жылдамдықтары, φ_s – тозаңды бөлшектер бетінің потенциалы.

Бөлшектердің бетіндегі электрондар мен иондардың ағыны, сәйкесінше $f_e(v)$ жылдамдықтар бойынша Максвелдік үлестірілу функциясының қимасын интегралдау арқылы анықталады, әдетте, ол мына формуламен беріледі [1, 2]:

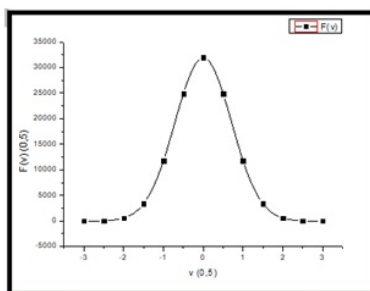
$$f_M(v) = (2\pi v_{Te(i)}^2)^{-3/2} \exp\left(-\frac{v^2}{2v_{Te(i)}^2}\right) \quad (8)$$

мұндағы $v_{Te(i)} = \sqrt{\frac{T_{e(i)}}{m_{e(i)}}}$ электрондардың (иондардың) жылулық қозғалысы.

Стационар күй үшін жылдамдықтар бойынша Максвелдік үлестірілуі функциясының графигі 1-суретте көрсетілген.

(5) теңдеуді (6-8) теңдеулерді пайдалана отырып, интегралдап шешу нәтижесінде, тозаңды сфералық бөлшектер үшін электрондар мен иондар ағыны есептелінеді [1-8]:

$$I_e = \sqrt{8\pi} a^2 n_e v_{Te} \exp\left(\frac{e\varphi_s}{T_e}\right) \quad (9)$$



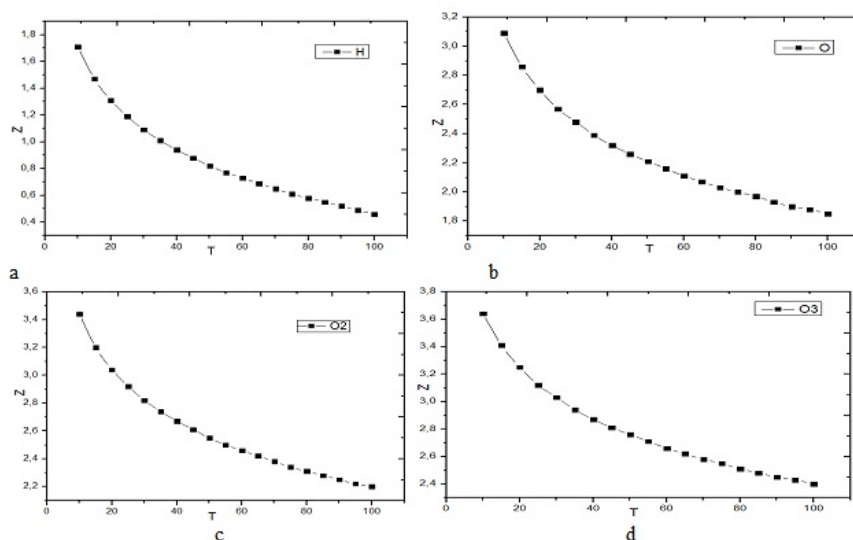
Сурет 1 – Плазмалық бөлшектердің жылдамдықтарының максвелдік үлестірілу функциясы

$$I_i = \sqrt{8\pi} a^2 n_i v_{Ti} \left(1 - \frac{e\varphi_s}{T_i}\right) \quad (10)$$

Стационарлық күй үшін алынған (9-10) теңдеулердегі электрондар мен иондар ағынын теңестіріп, әрі ыңғайлылық үшін шамаларды өлшемсіздендіре отырып, өлшемсіздендірілген тозаңды бөлшектің беттік потенциалы шамасын анықтауға болады:

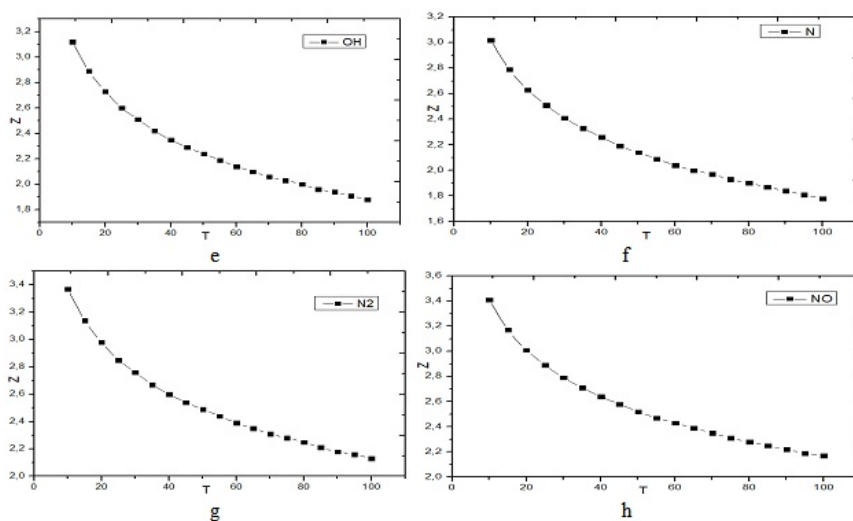
$$\exp(-z) = \frac{n_i}{n_e} \left(\frac{\mu}{\tau}\right)^{1/2} (1 + z\tau) \quad (11)$$

Мезосфера биіктіктеріндегі тозаңды бөлшектердің айналасындағы газдар Н, О, N, N₂, ОН, О₂, О₃, NO⁺ болғандықтан, осы газдар үшін тозаңды бөлшектің потенциалының электрондар мен иондар температураларының қатынасына тәуелділігі анықталды. Бұл тәуелділіктер 2-суретте көрсетілген.



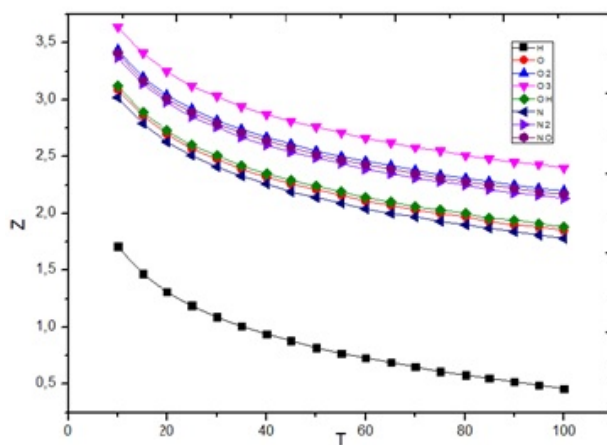
Сурет 2 – Тозаңды бөлшектерді қоршаған әртүрлі газдар үшін потенциал мен температуралар қатынасының тәуелділіктері. (a – Н, b – О, c – О₂, d – О₃ үшін)

Мезосфера биіктіктеріндегі тозаңды бөлшектердің айналасындағы Н, О, N, N₂, ОН, О₂, О₃, NO⁺ газдары үшін тозаңды бөлшектің потенциалының электрондар мен иондар температураларының қатынасына тәуелділігі нәтижесі бойынша, барлық газдарға



Сурет 3 – Тозаңды бөлшектерді қоршаған әртүрлі газдар үшін потенциал мен температуралар қатынасының тәуелділіктері. (e–OH, f–N, g–N₂, h– NO үшін)

ортақ сипаттама ол потенциалдың кемуімен электрондар мен иондар температураларының қатынасының артуы, сонымен қатар, Н үшін ғана тәуелділік графигі төмен жатыр. Оны мына 3 - суреттегі салыстырмалы графигтен де байқауға болады.



Сурет 4 – Тозаңды бөлшектің сыртындағы әртүрлі газдар үшін потенциалының температуралар қатынасына тәуелділігін салыстыру.

Қорытынды. Сонымен, есептеулер бойынша, мынадай нәтижелер алынды:

- мезосфера биіктіктеріндегі плазмаға, оның құрамына сипаттама берілді;
- плазмалық бөлшектердің жылдамдықтарының максвелдік үлестірілуінің графигі салынды;
- тозаңды бөлшектерді қоршап тұрған H, O, N, N₂, OH, O₂, O₃, NO⁺ иондары үшін, тозаңды бөлшектердің потенциалының электрондар мен иондардың температураларының қатынасына тәуелділігі анықталды;
- сфералық тозаңды бөлшектің потенциалы электрондар мен иондардың температураларының қатынасы ұлғайған сайын төмендейтіндігі байқалды;
- сфералық тозаңды бөлшектің потенциалының элементтердің реттік номерінің өсуімен артады;
- Н атомы үшін тәуелділіктің басқаларынан төмен жатқандығы байқалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Попель С. И. Лекции по физике пылевой плазмы. - Москва. МФТИ, 2012. - 160 с.
- 2 Фортов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма // УФН. - 2004. - Т. 174. - №5. - С. 495-544.
- 3 Цытович В.Н. Плазменно-пылевые кристаллы, капли иоблака // УФН. - 1997. - Т. 167. - № 1. - С. 57-99.
- 4 Kelley M.,Ulwick J. Large - and small-scale organization of electrons in the highlatitude mesosphere: Implications of the STATE data // J. Geophys. Res. - 1988. - Т. 93. - P. 7001-7008.
- 5 Chilson P.B., Belova E., Rietveld M.T., Kirkwood S. and HoppeU. First artificially induced modulation of PMSE using the EISCAT heating facility // Geophysic Research Letter. - 2000. - Т. 27. - P. 3801-3804.
- 6 Cho J.Y.N., Hall T.M., and Kelley M.C. On the role of charged aerosols in polar mesospheric summer echoes // Journal of Geophysic Research. - 1992. - Т. 97. - P. 875-886.
- 7 Шиникулова Г.Н. Изучение зарядки пылевой частицы на мезосферных высотах с немаксвелловским распределением электронов // Сб. избранных трудов XVI Конференции молодых ученых, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», посвященная Дню космонавтики 15-17 апреля 2019. Россия, РИИЦ. - 2019. - С. 16.
- 8 Нұрғалиева Қ.Е., Шынықұлова Г.Н. Максвеллдік емес электрондар бар болған кезде ионосфера биіктіктерінде тозаңды бөлшектің зарядталу ерекшеліктері. // Проблемы эволюции открытых систем, КАЗАХСТАН, рекомендуемый ККСОН МОН РК. - 2019. - Т. 1. - № 2. - С. 136-140.
- 9 Thomas G.E., Olivero J.J., DeLand M. and Shettle E.P. A response to the article by U. von Zahn, Are noctilucent clouds truly a miner's canary of global change? // Eos Trans. Am. Geophys. Union. - 2003. - Т. 84. - P. 352.
- 10 Roble R.G. and Dickinson R.E. How will changes in carbon dioxide and methane modify the mean structure of the mesosphere and thermosphere? // Geophys. Res. Lett. - 1989. - Т. 16. - P. 1441.
- 11 Taylor M.J., Gadsden M., Lowe R.P., Zalcik M.S. and Brausch J. Mesospheric cloud observations at unusually low latitudes// J. Atmos. Sol. Terr. Phys. - 2002. - Т. 64. - P. 991-999.
- 12 DeLand M.T., Shettle E.P., Thomas G.E. and Olivero J.J. A quartercentury of satellite PMC observations // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. - 2006. - Т. 68. - № 9. - P. 29.
- 13 Belova E., Chilson P.B., Rapp M., and Rietveld M.T. The response time of PMSE to ionospheric heating // Journal of Geophysic Research. - 2003. - Т. 108. - P. 8446.
- 14 Havnes O. Polar mesospheric Summer Echoes (PMSE) overshoot elect due to cycling of arti?cial electron heating // Journal of Geophysic Research. - 2014. - Т. 109. - P. A02309.
- 15 Kopnin S.I., Morzhakova A.A., Popel S.I., Shukla P.K. Processes Accompanying the Charging of Dust Grains in the Ionospheric Plasma // Plasma Physics Reports. - 2011. - Vol. 37. - № 8. - P. 696-706.
- 16 Клумов Б.А., Владимиров С.В., Морфилл Г.Е. Особенности пылевых структур в верхней атмосфере Земли // Письма в ЖЭТВ. - 2005. - Т. 82. - № 10. - С. 714-719.
- 17 Zobotin N.A. and Wright J.W. Role of meteoric dust on sprite formation // Geophys. Res. Lett. - 2001. - Т. 28. - P. 2593-2599.
- 18 Muralikrishna P. and Kulkarni V.H. Modeling the meteoric dust effect on the equatorial electrojet // Adv. Space Res. - 2008. - Т. 42. - P. 164-170.
- 19 Scales W.A. and Mahmoudian A. "Charged dust phenomena in the near-Earth space environment" // Rep. Prog. Phys. - 2016. - Т. 79. - P. 106802.
- 20 Mishra S.K., Misra Sh. and Sodha M.S. "Charging kinetics of dust particles in a non-Maxwellian Lorentzian plasma" // Eur. Phys. J.D. - 2013. - Т. 67. - P. 210.
- 21 Skellett A.M. The effect of meteors on radio transmission through the Kennellyheavyside layer // Phys. Rev. - 1931. - Т. 37. - P. 1668.
- 22 Skellett A.M. The ionizing effect of meteors // Proc. Inst. Radio Eng. - 1935. - Т. 23. - P. 132-249.
- 23 Eklund W.L. and Balsley B.B. Long-term observations of the Artic mesosphere with MST radar at Poker Flat, Alaska // Journal of Geophysic Research. - 1981. - Т. 8. - P. 7775.
- 24 Rottger J., Rietveld M.T., La Hoz C., HallT., KelleyM.C. and SwartzW.E. Polar mesosphere summer echoes observed with the EISCAT 933-MHz radar and the CUPRI 46.9-MHz radar, their similarity to 224-MHz radar echoes and their relationship to turbulence and electron density profiles // Radio Sci. - 1991. - Т. 25. - P. 671-687.

Г.Н. Шиникулова, А.Б. Ашикбаева

Казахский национальный университет им аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Сравнение зарядки различных газов, окружающих пылевые частицы на мезосферных высотах

Аннотация. В данной работе рассматривается зарядка пылевой частицы в ионосфере, которая взаимодействует с частицами плазмы, состоящими из различных газов. Описаны особенности мезосферы и образование пылевых частиц на данной высоте ионосферы. Распределение электронов и ионов по скоростям считается максвелловским, т.е. предполагается, что плазменная среда находится в стационарном состоянии. Расчеты проводились для ионосферной плазмы на высоте 85 км с температурой 150° К, концентрацией электронов и ионов 10^{10} м^{-3} , а также с частотой ионов 10^5 с^{-1} . Здесь рассматриваются сферические частицы с одинаковыми размерами. Для моделирования заряда пылевых

частиц использовалась теория OML. По результатам расчетов построен график максвелловского распределения частиц плазмы по скоростям, определена зависимость потенциала разных газов на поверхности сферических пылевых частиц от отношения температур электронов и ионов.

Ключевые слова: мезосфера, ионосфера, пылевая плазма, максвелловское распределение, теория OML, сферическая пылевая частица.

G.N. Shinikulova, A.B. Ashikbayeva

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Comparison of the charge of various gases surrounding a dust particle at mesospheric altitudes

Abstract. In this paper, the authors consider the charge of a dust particle in the ionosphere, which interacts with plasma particles consisting of various gases. There are described features of the mesosphere and the formation of dust particles at a given height of the ionosphere. The velocity distributions of electrons and ions have been assumed to be Maxwellian, i.e. it is assumed that the plasma medium is in a stationary state. Have been performed for ionospheric plasma at an altitude of 85 km with a temperature of 150°K , a concentration of electrons and ions of 10^{10} m^{-3} , and an ion frequency of 10^5 s^{-1} . The article considers spherical particles with the same size. The authors have used OML theory to model the charge of dust particles. The results of calculations constructed graph Maxwell distribution of plasma particles velocity, and the dependence of the potential of different gases on the surface of a spherical dust particles from the ratio of temperatures of electrons and ions.

Keywords: mesosphere, ionosphere, dust plasma, Maxwell distribution, OML theory, spherical dust particle.

References

- 1 Popel S.I. Lekcii po fizike pylvevoj plazmy [Lectures on the physics of dusty plasma] (Moscow: MFTI, 2012, 110 p.). [in Russian]
- 2 Fortov V.E., Khrapak A.G., Khrapak S.A., Molotkov V.I., Petrov O.F. Dusty plazma, UFN, 5(174), 495–544 (2004). [in Russian]
- 3 Tsitovich V.N. Plazmenno-pylevye kristally, kapli i oblaka, UFN [Plasma-dust crystals, droplets and clouds, UFN], 1(167), 57-99 (1997). [in Russian]
- 4 Kelley M., and Ulwick J. Large- and small-scale organization of electrons in the highlatitude mesosphere: Implications of the STATE data, J. Geophys. Res, 93, 7001–7008 (1988).
- 5 Chilson P.B., Belova E., Rietveld M.T., Kirkwood S. and Hoppe U. First artificially induced modulation of PMSE using the EISCAT heating facility, Geophysic Research Letter, 27, 3801–3804 (2000).
- 6 Cho J.Y.N., Hall T.M. and Kelley M.C. On the role of charged aerosols in polar mesospheric summer echoes, Journal of Geophysic Research, 97, 875–886 (1992).
- 7 Shinikulova G.N. Izuchenie zarydki pilevoi chastise na mezosfernih visotah s nemaxwellovskim raspredeleniem elektronov [Study of the charge of a dust particle at mesospheric altitudes with a non-Maxwellian electron distribution] Collection of selected works of the XVI Conference of Young Scientists, "Fundamental and Applied Space Research", de.dicated to the Cosmonautics, Day 15-17 april 2019, Russian, Rins, 16 (2019). [in Russian]
- 8 Nurgalieva K.E., Shinikulova G.N. Maxwelldik emes elektrondar bar bolgan kezde ionosfera biyktikterindegi tozandy bolshektyn zaryydtalu ereksheliktery [Features of charging a dusty particle at the altitudes of the ionosphere in the presence of non-Maxwell electrons], The problem of the evolution of systems of KAZAKHSTAN recommended by CCES of the MES, 1(21), 136–140 (2019). [in Kazakh]
- 9 Thomas G.E., Olivero J.J., DeLand M. and Shettle E.P. A response to the article by U. von Zahn, Are noctilucent-clouds truly a miner’s canary of global change?, Eos Trans. Am. Geophys. Union, 84, 352 (2003).
- 10 Roble R.G. and Dickinson R.E. How will changes in carbon dioxide and methane modify the mean structure of the mesosphere and thermosphere?, Geophys. Res. Lett, 16, 1441 (1989).
- 11 Taylor M.J., Gadsden M., Lowe R.P., Zalcik M.S. and Brausch J. Mesospheric cloud observations at unusually low latitudes, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 64, 991–999 (2002).
- 12 DeLand M.T., Shettle E.P., Thomas G.E. and Olivero J.J. A quartercentury of satellite PMC observations, J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., 9(68), 29 (2006).
- 13 Belova E., Chilson P.B., Rapp M., and Rietveld M.T. The response time of PMSE to ionospheric heating, Journal of Geophysic Research, 108 (D8), 8446 (2003).
- 14 Havnes O. Polar mesospheric Summer Echoes (PMSE) overshoot elect due to cycling of artificial electron heating, Journal of Geophysic Research, 109, A02309 (2014).
- 15 Kopnin S.I., Morzhakova A.A., Popel S.I., Shukla P.K., Processes Accompanying the Charging of Dust Grains in the Ionospheric Plasma, Plasma Physics Reports, 8(37), 696–706 (2011).
- 16 Klumov B.A., Vladimirov S.V., Morfil G.E. Osobennosty pyllevih stryktyr v verxnei atmosfere Zemli [Features of dust structures in the Earth’s upper atmosphere], JETP, 10(82), 714–719 (2005). [in Russian]
- 17 Zabolotin N.A. and Wright J.W. Role of meteoric dust on sprite formation, Geophys. Res. Lett, 28, 2593–2599 (2001).
- 18 Muralikrishna P. and Kulkarni V.H. Modeling the meteoric dust effect on the equatorial electrojet, Adv. Space Res, 42, 164–70 (2008).

- 19 Scales W A. and Mahmoudian A., "Charged dust phenomena in the near-Earth space environment", Rep. Prog. Phys. 79, 106802 (2016).
- 20 Mishra S.K., Misra Sh., and Sodha M.S. Charging kinetics of dust particles in a non-Maxwellian Lorentzian plasma, Eur. Phys. J.D., 67, 210 (2013).
- 21 Skellett A.M. The effect of meteors on radio transmission through the Kennellyheavyside layer, Phys. Rev, 37, 1668 (1931).
- 22 Skellett A.M. The ionizing effect of meteors, Proc. Inst. Radio Eng., 23, 132–249 (1935).
- 23 Eklund W.L. and Balsley B.B. Long-term observations of the Artic mesosphere with MST radar at Poker Flat, Alaska, Journal of Geophysic Research, 8, 7775 (1981).
- 24 Rottger J., Rietveld M.T., La Hoz C., Hall T., Kelley M.C., and Swartz W.E. Polar mesosphere summer echoes observed with the EISCAT 933-MHz radar and the CUPRI 46.9-MHz radar, their similarity to 224-MHz radar echoes and their relationship to turbulence and electron density profiles, Radio Sci, 25, 671–687 (1991).

Авторлар туралы мәлімет:

Шынықұлова Г.Н. - **негізгі автор**, Плазма физикасы, нанотехнологиясы және компьютерлік физика кафедрасының докторанты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан.

Ашықбаева Ә.Б. - PhD, плазма физикасы, нанотехнологиясы және компьютерлік физика кафедрасының аға оқытушысы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан.

Shinikulova G.N. - **The main author**, Ph.D. student in Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi avenue, Almaty, Kazakhstan.

Ashikbayeva A.B. - Ph.D., Senior Lecturer at Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics Department, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi avenue, Almaty, Kazakhstan.