

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Фізичний факультет

(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра загальної та хімічної фізики

(повна назва кафедри)

Дипломна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «**Пиловий факел частинок алюмінію в електричному полі**»
«Dust flame of aluminum particles in electric field»

Виконала: студентка денної форми навчання
напряму підготовки 6.040203 Фізика

Климович Тетяна Юріївна

Керівник д.ф.-м.н., проф. Шевчук В.Г.



Рецензент д.ф.-м.н., проф. Драган Г.С.

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

№ 17 від 09.06.2017 р.

Захищено на засіданні ЕК № 1

протокол № 36 від 23.06.2017 р.

Оцінка Відмінно / A / 91

(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Завідувач кафедри



(підпис)

Шевчук В.Г.

Голова ЕК



(підпис)

Калінчак В.В.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ДИМОВОЇ ПЛАЗМИ.....	5
1.1. Характеристики димової плазми	5
1.2. Розрахункова оцінка заряджених частинок.....	9
1.3. Коливальні хвилі, які виникають в плазмі.....	11
1.4. Експеримент зі спостереження пилових плазмових коливань.....	12
2. АНАЛІЗ ПЛАЗМОВОЇ НЕСТІЙКОСТІ В ЗОНІ ГОРІННЯ ПИЛОВОГО ФАКЕЛА ЧАСТИНОК АЛЮМІНІЮ	15
2.1. Дисперсійне співвідношення для електронно-пилової плазми в зовнішньому електричному полі	15
2.2. Параметри димової плазми в зоні горіння.....	18
2.3. Низько частотний спектр коливань в зоні горіння факелу алюмінію.....	21
РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ	25
ЛІТЕРАТУРА.....	26
Додаток. Програма для проведення аналізу дисперсійного співвідношення.	29

ВСТУП

В продуктах згорання газових, рідких та твердих палив і металізованих паливних композицій виникає димова плазма при умові наявності дрібнодисперсних димових частинок і вільних електричних зарядів у газовій фазі. Спалювання палив, як правило, проводиться при атмосферному, або підвищеному тиску, тому іонізація атомів газової фази в такій плазмі термічна, тобто відбувається внаслідок непружних зіткнень при хаотичному тепловому русі[1-4].

Пилова компонента може не тільки модифікувати, але часто і визначати спектр коливань, впливати на ефекти загасання і нестійкості. Наявність пилових частинок призводить до виникнення нової гілки коливань – пилового звуку [5-7]. Завдяки низькій частоті ці коливання особливо привабливі з експериментальної точки зору. Вивчення хвильових явищ в пиловій плазмі склалося в самостійну область серед напрямків досліджень в області пилової плазми.

В даний час в ряді лабораторій поряд з дослідженнями освіти упорядкованих структур, кристалізації і фазових переходів в системі пилових частинок, процесів зарядки пилу в різних умовах[8], взаємодії між частинками в плазмі ведуться теоретичні та експериментальні дослідження виникнення і поширення різних хвиль в пиловій компоненті [5, 9, 10].

Мета цієї роботи: з'ясувати причину виникнення електричних коливань в пилових факелах металів, поміщених у зовнішньому електричному полі та їх використання для діагностики плазми.

Для досягнення поставленої мети заплановано розв'язання наступних задач:

- Аналіз основних компонент плазми, які визначають іонізаційну рівновагу в зоні горіння пилового факелу.
- Формулювання фізичної та математичної моделей димової плазми в факелі.

- Отримання дисперсійного співвідношення для димової плазми, яке визначає спектр коливань в димовій плазмі.
- Вивчення основних процесів, які зумовлюють виникнення нестійкості в димовій плазмі продуктів згоряння металів.

Об'єктом дослідження роботи є димова плазма (smokey plasmas) в двофазному полум'ї частинок металів.

Предмет дослідження - процеси нестійкості в плазмі продуктів згоряння пилових факелів металів в зовнішньому електричному полі.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Дипломна робота була присвячена з'ясуванню причин виникнення електричних коливань в пилових факелах металів, поміщених у зовнішньому електричному полі та їх використання для діагностики плазми.

Основні результати роботи можна підсумувати в наступних висновках.

- Отримано дисперсійне співвідношення, яке дозволило розрахувати спектр коливань електронно-пилової плазми в зоні горіння факелу частинок алюмінію та дослідити вплив на нього параметрів димової плазми.

Показано існування критичної напруженості електричного поля, при якій в плазмі виникають низькочастотні коливання, Встановлено, що нестійкість існує в досить вузькому діапазоні $E_0 = 24000-36000$ В/м, яка залежить від заряду частинок пилу. Значення електричного поля поблизу порогу з пилу акустичних хвиль, яке спостерігалось в експерименті $E_0 \sim 300$ кВ/м, і знаходиться в хорошому згоді з розрахунковими значеннями.

- За даними розрахунків визначена швидкість пилового звуку ($v_{ph} \approx 0.1$ м/с), яка добре узгоджується з теоретичними оцінками.
- Показано, що причиною виникнення нестійкості, є потокова нестійкість, яка зумовлена взаємодією частинок пилу з молекулами нейтрального газу та електронами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vishnykov V.I., Dragan G.S., Marganchuk S.V., // Chemistry of Plasma / Ed. By B. Smirnov. – Moscow: Energoizad, 1989. – 16. – P. 98-120 (in Russian).
2. . Dragan G.S., Mal`gota A.A., Protas S.K. et al.// Proc. Scientific and Technical Meeting of Comecon Member Countries, Alma-Ata, USSR, October 25-31, 1982. – Inst. High Temperature, Acad. Sci. of the USSR, 1984. – P. 191 – 192.
3. Dragan G.S. // Dusty and Smoky Plasmas. Some Properties and Applications. Ukr. J. Phys. 2005, Vol. 50, N 2, p.130-134.
4. Драган Г.С. ЕЛЕКТРОФІЗИКА ДИМОВОЇ ПЛАЗМИ: Навч. посіб. До спецкурсу «Електрофізичні властивості плазми» - Одеса//ОНУ.2015(2005).
5. 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.
6. Цытович В. Н. Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака / В. Н. Цытович // Успехи физических наук. – 1997. – Т.167, №1. – С. 57 – 99
7. Rao N. N., Shukla P. K. and Yu M. Y. Dust-acoustic waves in dusty plasmas // Planet. Space Sci. — №V.38. — 1990. — с. 543-546.
8. Vishnyakov V.I. , Dragan G.S. Thermoemission (dust-electron) plasmas: Theory of neutralizing charges // Physical Review E. — №V. 74. — 2006. — с. 0366404.
9. Fortov V.E. et al Physics Reports 421 1–103 (2005).
10. Драган Г.С. Электроакустические колебания частиц оксида алюминия в термической плазме//ЖЭТФ, 2004, том 125, вып.3, стр. 570-575.
11. Shukla P K, Mamun A A. Introduction to Dusty Plasma Physics — s.l.: IOP Publishing Ltd, 2002. — 263 с.

12. С.К. Жданов, В.А. Курнаев, М.К. Романовский, И.В. Цветков; Под ред. В.А. Курнаева. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках / М: МИФИ, 2007. 368 с.
13. Фортов В. Е. Формирование упорядоченных структур макрочастиц в классической термической плазме: эксперимент и компьютерное моделирование / Фортов В.Е., Филинов В.С., Нефедов А.П. [и др.] // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1997. – Т.111, №3. – С. 889-902.
14. С.М. Рывкин Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – М.: Изд-во Физ. – мат. лит., 1963. – 496 с.
15. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы. М.: Высшая школа, 1978.
16. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. М.:МИФИ, 1997.
17. Poletaev N.I., Florko A.V., Doroshenko Yu.A., Polishchuk D.D. On a Possibility of the Existence of Dusty Plasma Oscillation in the Front of an Aluminum Particle Flame // Ukrainian Journal of Physics. — № V.53., Выпуск № 11. — 2008. — с. 1066 – 1074.
18. Золотко А.Н., Вовчук Я. И., Полетаев Н. И., Флорко А. В., Альтман И. С.: Синтез наноксидов в двухфазных ламинарных пламенах. Физика горения и взрыва, 1996. – Т. 32, №3. - С. 24-34.
19. Khrapaka S.A. , Morfill G.E. Dusty plasmas in a constant electric field: Role of the electric drag force // Physical Review E. — №V. 69. — 2004. — с. 066411
20. Помогайло А. Д., Розенберг А. С., Уфлянд И. Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
21. Zolotko A.N., Poletaev N.I., Vovchuk J.I. and Florko A.V. Nanoparticle formation by combustion techniguest gaseons dispersed synthesis of refractori orides // Gas Phase Nanoparticle Synthesis/ Eds.C.Grangvist, L. Kish,

- W.Marlow – London, Springer. – ISBN 978-1-4020-2443-6, 2005. – P.123 – 156.
22. Vovchuk J. I., Poletaev N. I The Temperature Field of a Laminar Diffusion Dust Flame // Combustion and Flame, 1994. – V. 99. – pp.706-712.
23. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. – Изво Химия; Ленинградское отделение. 1977.- 376 с.
24. Козицкий С.В, Флорко А. В., Золотко А. Н., Головки В. В. О механизме переноса конденсированных продуктов сгорания на поверхность горячей частицы магния // Физика горения и взрыва. — №19., Выпуск 6. — 1983. — с. 24-29
25. Shukla P.K. A survey of dusty plasma physics // Physics of Plasma. — №V.8., Выпуск N.5. — 2001. — с. 1791-1803.
26. Полетаев Н. И. Электрические колебания в зоне горения пылевого пламени // Химическая и радиационная физика. Том 4 / под ред. А. А. Берлина, Г. Б. Манелиса, А. Г. Мержанова Под ред. И. Г. Ассовского — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. — с. 164-168.

Додаток. Програма для проведення аналізу дисперсійного співвідношення.

```

function F=disprelation(y)
me=9.11e-31;    %kg
e=1.6e-19;     %electron charge, K
kk=1.38e-23;   %Boltsmen constant, Dj/K
eps0=8.85e-12; %electic constant, F/m
rd=0.08e-6;    %dust radius, m
Cf=0.4*1.89;   %fuel mass concentration, kg/m^3
rom=3500;      %metal oxide dencity, kg/m^3
Zd=100;        %dust charge in elementary charge
T=3150;        %electron and dust temperature
Cf0=Cf*(300/T);
md= 4/3*pi*rd^3*rom ; % 7.5e-18;    %dust mass, kg
nd=Cf0/md %dust particle concentration, 1/m^3

ne=Zd*nd;
%Frequencies and Debye radiuses
we= ne *(e^2)/(me*eps0); %square of the electron frequency,1/c
wp= nd*(Zd*e)^2/(eps0*md); %square of the dust frequency, 1/c
sqrt(we)
lde=eps0*kk*T/(e^2*ne); %square of the electron debye radius, m
ldd=eps0*kk*T/(e^2*Zd^2*nd); %square of the dust debye radius, m
% lded=sqrt(lde*ldd/(lde+ldd))

VDA=sqrt(Zd*kk*T/md) %Dust acustic phase speed,m/c
WaveLength=2*pi*VDA/sqrt(wp); %Length of the DA wave, m
K=2*pi/WaveLength;
P=1e5; %atmospheric pressure, H/m^2
sig=1e-20; %Electron-neutral cross section,m^2
Nn= P/(kk*T); %neutral (nitrogen) atom dencity, 1/m^3
Nn=Nn/1;
rN2=1.3*(300/T); %neutral (nitrogen) dencity, kg/m^3
MNn=0.028/6.02e23; %Neutral atom mass (nitrogen), kg
z=1/(4*pi*eps0)*Zd*e^2/(rd*kk*T); %dimentionless dust particle surface potential
beta=5; % see estimates of the Khrapak and Morfill
cof=50; %50;
ve=sqrt(8*kk*T/(pi*me)); %electron thermal speed, m/c
vn=sqrt(8*kk*T/(pi*MNn)); %neutral atom thermal speed, m/c
men = sqrt(2)*sig*Nn*ve %electron neutral collision frequency, 1/c
mdn= (8*sqrt(2)/3)*MNn*Nn*rd^2*vn/md; %The dust-neutral collision frequency,1/c

mde= (8*sqrt(2*pi)/3)*ne*rd^2*ve *cof*me/md %5.6e5; %The dust-electron collision
frequency,1/c

```

```

med= (8*sqrt(2*pi)/3)*nd*rd^2*ve *cof
% mdn=0;
mde=0; med=0;
mue =men+med
mud=mdn+mde;

% K=50000 ;      % vave number,1/m
  K=226000 ;     % vave number,1/m
% E0=5.37e4      %direct electric fild, V/m

% sqrt(lde)
% scale =K^2*lde
% scale/(1+scale)
  ve0=-e/(me*mue);
% ve0=-ve0;
factor=mde*md/(Zd*mue*me);
vd0=e*Zd/(md*mud)*(1-factor)
A=K*vd0;
B=K*(abs(ve0)-vd0);
CE=K^2*we*lde;
CD=K^2*wp*lde;
% E0=0;        %direct electric fild, V/m
% A=0;
% B=0;
% mde=0;
% mue=0;
% mud=0;
%mdn=0;
% % we=1;
% syms w E0 wr wi real
syms E0 real;
  syms w unreal
ae=(w-B*E0)*(w-B*E0+i*mue)-CE;
ad=(w-A*E0)*(w-A*E0+i*mud)-CD-i*(w-B*E0)*mde;
fun=ae*ad-we*ad-(wp-i*(w-B*E0)*mde)*ae;
E0=18200;
drifte=ve0*E0
driftd=vd0*E0
VDA=sqrt(Zd*kk*T/md)
VDT=sqrt(8*kk*T/pi/md)
Vet=sqrt(8*kk*T/pi/me)
fun=vpa(subs(fun,'E0',E0),5);
w=solve(fun,w);
w=vpa(w,5)

```