

## Lecture №1.

### ELECTRICITY IN GASES

#### 1-MA'RUZA.

#### MAVZU: GAZLARDA ELEKTR TOKI.

#### REJA:

##### 1.1. Gazlarda elektr toki.

##### 1.2. Nomustaqil gaz razryad.

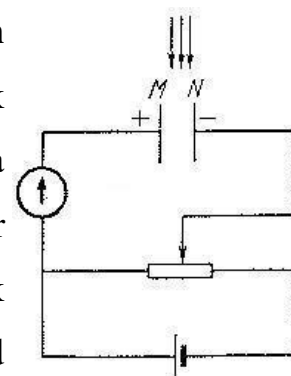
##### 1.3. Mustaqil gaz razryad.

##### 1.4. Plazma.

Tayanch iboralar: elektr toki, gaz, gaz razryadi, mustaqil va nomustaqil gaz razryadi, plazma, elektr zanjiri, elektrodlar, zaryad tashuvchilar.

#### 1.1. Gazlarda elektr toki

Gazlar orqali elektr tokning o'tishini tekshirish uchun 1-rasmda tasvirlangan shema asosida elektr zanjir tuzaylik. Bu zanjirning bir qismi, ya'ni  $M$  va  $N$  plastinalar (elektrodlar) orasidagi qismi biror gazdan iborat bo'lsin. Shemadagi gal vanometr zanjir bo'ylab elektr tok oqmayotganligini ko'rsatadi, chunki oddiy sharoitlarda gazda zaryad tashuvchilar bo'lmaydi. Demak, zanjir  $M$  va  $N$  elektrodlar orasida uzilgan bo'ladi. Shuning uchun zanjir orqali elektr tok oqishini ta'minlamoqchi bo'lsak, elektrodlar oralig'iga zaryad tashuvchilar kiritish yoki biror usul bilan elektrodlar orasidagi gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirish kerak. Gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirishning barcha usullarini ikki gruppaga ajratish mumkin:



1-rasm

a) gazdagi zaryad tashuvchilar tashqi faktorlar tufayli vujudga kelishi natijasida kuzatiladigan elektr tokni *nomustaqil gaz razryad* deyiladi;

b)  $M$  va  $N$  elektrodlar orasidagi elektr maydon ta'sirida vujudga kelgan

zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan elektr tokni *mustaqil gaz razryad* deyiladi.

## 1.2. Nomustaqil gaz razryad.

Agar  $M$  va  $N$  elektrodlar orasidagi gazni qizdirsak yoki  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , rentgen, ultrabinafsha nurlar bilan nurlantirsak, gaz molekulalarining ionlashuvi sodir bo'ladi. Ionlashuv jarayonining mohiyati quyidagidan iborat. Tashqi faktorlardan olgan energiya tufayli gaz molekulasidagi bir yoki bir necha elektron molekuladan ajralib chiqadi. Natijada molekula musbat zaryadlangan ionga aylanib qoladi. Ajralib chiqqan elektronlarning bir qismi neytral molekulalar bilan birlashib manfiy zaryadlangan ionlarni vujudga keltiradi. Shuning uchun ham gazdagi (ionlashish jarayoniga sababchi bo'lgan tashqi faktorni *ionizator* (ionlashtiruvchi) deb ataladi.

Ionlanish jarayoni bilan bir qatorda gazda rekombinatsiya jarayoni ham sodir bo'ladi. Rekombinatsiya ionlanishga teskari jarayon bo'lib, bunda musbat va manfiy ionlarning yoki elektron va musbat ionning to'qnashuvi natijasida neytral molekulalar hosil bo'ladi.

Shunday qilib, gazlarda ionlanish jarayonida manfiy zaryad tashuvchilar (elektronlar va manfiy ionlar) hamda musbat zaryad tashuvchilar (musbat ionlar) teng miqdorda hosil bo'ladi, rekombinatsiya jarayonida esa teng miqdorda yuqoladi.

Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda  $n_+$  dona musbat va  $n_-$  dona manfiy zaryad tashuvchilar vujudga kelayotgan bo'lsin. Odatda  $n_+=n_-$  bo'lganligi uchun, oddiygina qilib,  $n$  juft zaryad tashuvchilar vujudga kelyapti, deylik.

Rekombinatsiya jarayoni tufayli  $\Delta n'$  juft ion kamayayotgan bo'lsin. Elektr maydon tufayli musbat zaryad tashuvchilar manfiy zaryadlangan  $N$  elektrodga,

manfiy zaryad tashuvchilar esa musbat zaryadlangan  $M$  elektrodga tortiladi va ularda neytrallanadi. Buning natijasida  $\Delta n''$  juft ionlar kamayotgan bo'lsin. U holda gazning birlik hajmida birlik vaqtda kamayayotgan ionlarning umumiy soni

$$\Delta n = \Delta n' + \Delta n'' \quad (1.1)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bu ifodadagi qo'shiluvchilarning hissalarini elektr maydonga bog'liq. Ikki chegaraviy holni ko'raylik.

1. Elektrodga berilgan kuchlanishning ancha kichik qiymatlarida, ya'ni kuchsiz elektr maydonlarda ionlar asosan rekombinatsiya tufayli kamayadi ( $\Delta n' \gg \Delta n''$ ). Lekin bir qism ionlar elektr maydon tufayli qarama-qarshi zaryadlangan elektrodga etib boradi va kuchsiz elektr tokni vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida musbat va manfiy zaryad tashuvchilar mos ravishda quyidagi tezliklar bilan harakat qiladi:

$$\begin{aligned} v_+ &= u_+ E, \\ v_- &= u_- E, \end{aligned} \quad (1.2)$$

bu ifodalarda  $E$  – elektr maydon kuchlanganligi,  $u_+$  va  $u_-$  lar esa mos ravishda musbat va manfiy zaryad tashuvchilarning harakatchanliklari. Ionning harakatchanligi – kuchlanganligi 1 V bo'lgan elektr maydon ta'sirida ion erishgan tezlik bilan harakterlanib, turli gazlar uchun turlicha qiymatlarga ega bo'ladi.

(1.2) ifoda bilan aniqlanuvchi tezliklar bilan tartibli harakat qiluvchi ionlar  $\Delta t$  vaqt ichida plastinalarga quyidagi zaryadlarni yetkazadi:

$$\begin{aligned} Q_+ &= qn v_+ S \Delta t = qn u_+ E S \Delta t, \\ Q_- &= qn v_- S \Delta t = qn u_- E S \Delta t, \end{aligned} \quad (1.3)$$

Bunda  $Q_+$  va  $Q_-$  – mos ravishda manfiy va musbat zaryadlangan elektrodga

ionlar tashib yetkazayotgan zaryad miqdorlari,  $q$  – ionning zaryadi,  $S$  – elektrodning yuzi. Elektr maydon tomonidan ko'chirilgan umumiy zaryad miqdori

$$Q=|Q_+|+|Q_-|=qn(u_++u_-)ES\Delta t \quad (1.4)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Birlik yuz orqali birlik vaqtda ko'chirilgan zaryad tok zichligi  $j$  ni ifodalash edi. Shuning uchun

$$j=\frac{Q}{S\Delta t}=qn(u_++u_-)E, \quad (1.5)$$

bu ifodadagi  $q$ ,  $u_+$ ,  $u_-$  – lar ayni tajriba sharoiti uchun doimiy kattaliklardir.  $n$  esa unchalik katta bo'lmagan elektr maydonlar uchun o'zgarmas hisoblanadi. Demak, kuchsiz elektr maydonlarda (1.5) ifodadagi  $qn(u_++u_-)=\sigma$  ko'paytuvchini o'zgarmas kattalik deb hisoblash mumkin. U holda (1.5) ifoda gazlar orqali o'tuvchi elektr tok uchun Om qonunini ifodalaydi:

$$j=\sigma E \quad (1.6)$$

Endi  $M$  va  $N$  elektrodga berilgan kuchlanish yetarlicha katta bo'lgan holni ko'raylik. Bu holda elektr maydon ta'sirida ionlar ancha katta tezliklarga erishadi. Shuning uchun ionizator ta'sirida vujudga kelayotgan ionlarning deyarli hammasi rekombinatsiyalashishga ulgurmasdanoq elektrodga etib oladi.

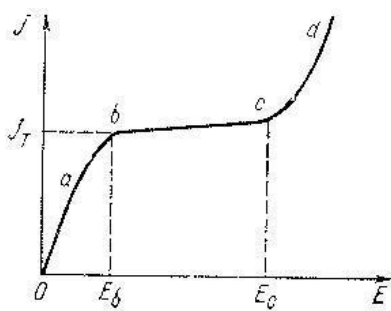
Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda  $n$  juft ion vujudga keladi, deb hisoblangan edi. U holda bir-biridan  $l$  uzoqlikda joylashgan  $S$  yuzli ikki elektrod orasidagi hajm  $S \cdot l$  ga teng bo'lganligi uchun, bu ikki elektrod oralig'ida  $\Delta t$  vaqt ichida umumiy zaryadi

$$Q=qnSl\Delta t \quad (1.7)$$

bo'lgan ionlar vujudga keladi. Bu ionlarning hammasi tok tashishda qatnashayotganligi uchun gaz orqali o'tayotgan elektr tokning qiymati **to'yinish toki** deyiladi va bu tuyinish tokining zichligi uchun quyidagi ifoda o'rinaldir:

$$j_{\text{tuy}} = \frac{Q}{S\Delta t} = qnl \quad (1.8)$$

2-rasm da nomustaqil gaz razryadda elektr maydon kuchlanganligi qiymatiga bog'liq ravishda tok zichligining o'zgarishini tasvirlovchi grafik chizilgan. Grafikning  $Oa$  qismi kuchsiz elektr maydonga mos keladi. Bunday maydonlarda zaryad tashuvchilar kichik tezliklar bilan harakatlanib, ko'pincha elektrodga etib bormasdan, rekombinatsiyalashadi. Lekin elektr maydon



2-rasm

kuchaygan sari ionlar tezligi ortib ularning rekombinatsiyalashuv ehtimolligi kamayib boradi. Bu esa tokning ortishiga sabab bo'ladi. Bu sohada  $j$  va  $E$  orasidagi bog'lanish Om qonuniga bo'ysunadi,  $ab$  qismda esa  $j$  ning  $E$  ga chiziqli bog'liqligi buziladi. Grafikning bu qismini *oraliq soha* yoki *o'tish sohasi* deyiladi.  $bc$  qismi to'yinish tokiga mos keladi. Maydon kuchlanganligi  $E_b \leq E \leq E_c$  bo'lganda ionizator ta'sirida vujudga kelgan ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi. Lekin maydon kuchlanganligi  $E_c$  dan ortganda zarbdan ionlanish tufayli tok keskin ortib ketadi (rasmdagi  $cd$  qism).

### 1.3. Mustaqil gaz razryad.

Tashqi ionizator ta'sir qilmasa ham, nihoyat kuchli elektr maydonlar ta'sirida zaryad tashuvchilar vujudga kelishi mumkin. Zaryad tashuvchilarning vujudga kelishini ta'minlovchi asosiy jarayonlar quyidagilardan iborat.

1. *Zarbdan ionlanish.* Oddiy sharoitlardagi gazda turli sabablar tufayli vujudga kelgan elektronlar va ionlar mavjud. Lekin ularning soni nihoyat darajada kam bo'lganligi uchun oddiy sharoitlardagi gaz amalda elektr tokni o'tkazmaydi, deyish mumkin. Kuchlanganligi  $E$  bo'lgan elektr maydonga  $q$  zaryadli tok tashuvchi (ion yoki elektron) ga  $qE$  kuch ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida tok tashuvchi ikki ketma-ket to'qnashuv orasida erkin bosib o'tilgan  $l$  yo'lda

$$W_k=qEl \quad (1.9)$$

kinetik energiyaga erishadi. Agar bu energiya gaz molekulasining ionlanishi uchun bajarilishi lozim bo'lgan  $A_i$  ishdan katta bo'lsa, ya'ni

$$W_k \geq A_i \quad (1.10)$$

shart bajarilsa, tok tashuvchining neytral molekula bilan to'qnashishi natijasida molekula ikki qismga – erkin elektronga va musbat zaryadlangan ionga ajraladi. Bu jarayonni *zarbdan ionlanish* deyiladi. Yangi vujudga kelgan tok tashuvchilar ham o'z navbatida elektr maydon tomonidan tezlatiladi. Shuning uchun ular yana ionlanishiga sababchi bo'lishi mumkin. Shu tariqa gazda ionlanish nihoyat katta qiymatlarga erishadi. Bu hodisa tog'lardagi qor ko'chkisini eslatadi. Ma'lumki, qor ko'chkisining vujudga kelishiga bir siqimgina qor sababchi bo'la oladi. Shuning uchun yuqorida bayon etilgan jarayon ionlar ko'chkisi (quyuni) deyiladi.

2. *Ikkilamchi elektron emissiya.* Gazdagi musbat zaryadli ionlar elektr maydon ta'sirida ancha katta energiyalarga erishgach, manfiy elektrodga urilishi natijasida elektroddan elektronlar ajralib chiqadi. Bu hodisani ikkilamchi elektron emissiya deyiladi.

3. *Avtoelektron emissiya.* Bu hodisa nihoyat kuchli elektr maydonlarda ( $E \sim 10^8$  V/m) sodir bo'ladi. Bunda nihoyat kuchli elektr maydon metallardan elektronlarni yulib (tortib) oladi, deyish mumkin.

4. *Fotoionlanish.* Zarbdan ionlanish natijasida vujudga kelgan ion uyg'otilgan holatda bo'lishi mumkin (uyg'otilgan holatdagi sistemaning energiyasi asosiy holatdagiga qaraganda kattaroq bo'ladi). Bu ion uyg'otilgan holatdan asosiy holatga o'tayotganda qisqa to'lqin uzunlikli nur chiqaradi. Bunday nur energiyasi molekulaning ionlanishiga yetarli bo'lib qolganda fotoionlanish hodisasi ro'y beradi.

5. *Termoelektron emissiya.* Manfiy elektrod temperaturasi yetarlicha

yuqori bo'lgan hollarda termoelektron emissiya tufayli anchagina elektronlar vujudga keladi.

Mustaqil gaz razryadlarning ba'zi turlari bilan tanishaylik. Oldin oddiy atmosfera bosimlaridagi gazlarda ro'y beradigan razryadlarni tekshiramiz.

1. *Toj razryad*. Razryadning bu turi vujudga kelganda elektrodlar yaqinida huddi quyosh tojiga o'hshagan nurlanish kuzatiladi. Toj razryad vujudga kelishi uchun nihoyat kuchli notekis elektr maydon mavjud bo'lishi shart. Masalan, katta kuchlanishli elektr toklarni o'tkazuvchi simlarni ko'raylik. Sim va erni kondensatorning ikki qoplamasi deb qarash mumkin. Bu kondensatordagi elektr maydon notekis bo'lib, maydon kuchlanganligi sim yaqinida juda katta qiymatga erishadi. Bu sohadagi gaz elektr maydon ta'sirida nihoyat intensiv ravishda ionlashadi. Shuning uchun bu sohada simni qar tomondan o'rab olgan nurlanish, ya'ni mustaqil gaz razryad kuzatiladi. Bu esa elektr energiyaning isrof bo'lishiga sabab bo'ladi. Toj razryad faqat simlar atrofida emas, balki kuchli va notekis elektr maydon vujudga kelgan elektrodlar atrofida ham vujudga keladi. Masalan, elektrodning biror qismi egrilik radiusi kichik bo'lgan uchlikka ega bo'lsa, bu sohada (uchlikda) elektr zaryadning konsentratsiyasi juda ortib ketadi. Shuning uchun bu uchlik atrofida nurlanish kuzatiladi. Toj razryad kema machtalarining, daraxtlarning uchlarida ham kuzatiladi. Qadim vaqtlarda bu hodisalarni «avliyo El ma chiroqlari» deb atashgan.

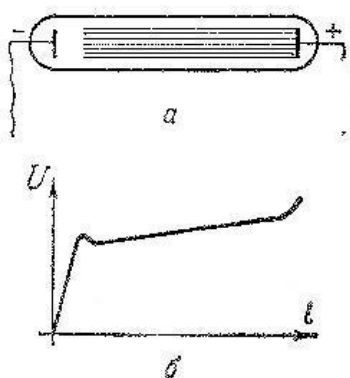
2. *Uchqunli razryad (uchqun)*. Kondensator qoplamalari yoki induksion g'altak chulg'aming ikki uchi orasidagi kuchlanish nihoyat katta ( $3 \cdot 10^6$  V/m) bo'lganda gazning turtki ravishda zarbdan ionlanishi natijasida qisqa vaqtli razryad – uchqun vujudga keladi. Eng ulkan uchqun razryad – yashindir. Yashin bulutlar orasida yoki bulut bilan Yer oralig'ida katta poteptsiallar farqi vujudga kelishi natijasida paydo bo'ladi. Uchqun yaqinidagi gaz yuqori temperaturalargacha qiziydi va keskin kengayadi. Bu esa o'z navbatida tovush to'lqinlarining vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Yashinning uzunligi 50

kilometrgacha, tok kuchi 20000 A gacha etadi. Shuning uchun ham yashin tufayli vujudga keladigan tovush, ya'ni momaqaldiroq juda kuchli bo'ladi.

3. *Ey razryad (elektr yoyi)*. Agar 3–rasmda tasvirlangan elektrodni bir-biriga tegizsak va elektr tok o'tkazsak, elektrodning bir-biriga tegib turgan uchlari qiziydi. So'ng ularni bir-biridan bir oz uzoqlashtiraylik. Katod bo'lib hizmat qiluvchi elektrod juda ko'p termoelektronlar chiqaradi. Bu termoelektronlar elektrodlar oralig'idagi gazni ionlashtiradi. Natijada elektrodlar orasida yoy shaklidagi kuchli (ko'zni qamashtiradigan darajada yorug') shu'la paydo bo'ladi. Buni elektr yoyi yoki Petrov yoyi deyiladi. Elektr yoyi uchqundan farqli o'laroq, uzluksiz davom etadi. Tajribalar asosida yoy razryad unchalik katta bo'lmagan kuchlanishlarda ( $\sim 40$  V) sodir bo'lishi aniqlandi. Lekin tok kuchi katta ( $\sim 3000$  A) bo'lishi mumkin. Elektrodning temperaturalar ( $2500\div 4000$ ) $^{\circ}$ C gacha ko'tariladi. Temperaturaning bu qadar ko'tarilishi metallarni elektr payvandlashda, kuchli yorug'lik tarqatilishi esa yoy lampalarda foydalaniladi.



3–rasm



4–rasm

Endi siyraklashtirilgan gazlarda kuzatiladigan razryad bilan tanishaylik. 4a–rasmda tasvirlangan shisha naychaning ikki tomoniga metall elektrodlar kavsharlangan. Bu naycha ichidagi gaz bosimi 0,1 mm simob ustuniga, elektrodga berilgan kuchlanish bir necha yuz voltga teng bo'lganda naychadagi gazda mustaqil razryad kuzatiladi. Razryad tuzilishining mayda tafsilotlari bilan qiziqmay, uni ikki qismdan iborat deb ko'rishimiz mumkin. Katodga yaqin joylashgan nurlanish sodir bo'lmayotgan sohani katod qorong'i fazosi deyiladi. Razryadning qolgan (anodgacha davom etgan) qismida miltillagan nurlanish kuzatiladi. Razryadning bu qismini nurlanuvchi anod ustuni deyiladi. *Yolqin razryad* deb nomlangan bu razryadda katod hamma vaqt

sovuqligicha qoladi. U holda ionlar qanday vujudga keladi? Bu savolga javob berish uchun katod bilan anod oralig'idagi nuqtalarda potensialning o'zgarishi bilan tanishaylik. 4b–rasmda katod va naycha ichidagi tekshirilayotgan nuqta orasidagi kuchlanish  $U$  ni katoddan ushbu nuqtagacha bo'lgan masofa  $l$  ga bog'liqlik grafigi tasvirlangan. Bu grafikdan ko'rinishicha, potensialning asosiy tushuvi katod qorong'i fazosiga to'g'ri keladi. Shuning uchun ham uni katod potensial tushuvi deb ataladi. Katod tomon tortilayotgan musbat ionlar bu sohada katta energiyalarga erishadi va katodga urilgach, undan bir necha elektron ajralib chiqishiga sababchi bo'ladi. Bu elektronlar o'z navbatida katod potentsiali ta'sirida tezlashib gaz molekulalari bilan to'qnashganda zarbdan ionlanishni vujudga keltiradi. Vujudga kelgan yangi ionlar yana katod tomon intiladi, katod potentsiali ta'sirida yana tezlashadi, katoddan elektronlarni urib chiqaradi va hokazo. Demak, elektrodlar oralig'ida kuchlanish mavjud bo'lsa, razryad uzluksiz davom etaveradi. Shuni ham qayd qilib o'taylikki, fanda elektronlar bilan birinchi tanishuv yuqorida bayon etilgan tajribadagi katoddan ajralib chiqayotgan elektronlar oqimini tekshirish natijasida ro'y bergan. Shuning uchun bu elektronlar oqimi katod nurlari deb atalgan. Katoddan elektronlarni urib chiqarayotgan musbat ionlar esa anod nurlari deb atalgan.

Naychadagi gazni o'zgartirganda nurlanishning rangi qam o'zgaradi. Masalan, neon – qizil, argon – ko'kish, geliy – sariq rangdagi nurlanish beradi. Yolqin razryadning bu xususiyatlaridan kunduzgi yorug'lik lampalarida, vitrinalarni yoritish, bezash maqsadlarida foydalaniladi.

#### **1.4. Plazma.**

Yuqori darajada ionlashgan, lekin kichik makroskopik hajmda elektroneytral bo'lgan gaz *plazma* deb ataladi. Agar gazning barcha molekulalari ionlashgan bo'lsa, ya'ni ionlashganlik darajasi birga teng bo'lsa, *to'liq ionlashgan plazma* deyiladi. Boshqa hollarda qisman ionlashgan plazma bilan ish ko'rilayotgan bo'ladi. Plazmani ikki usul bilan hosil qilish mumkin:

1. O'ta yuqori temperaturalargacha qizdirilgan gaz molekulalari o'zaro to'qnashuvi tufayli ionlanish sodir bo'ladi. Masalan,  $T \geq 10000$  K da har qanday jism plazma holatida bo'ladi. Barcha yulduzlar, xususan Quyosh ham, ana shunday yuqori temperaturali plazmadan iboratdir.

2. Gazdan elektr tok o'tishi (elektr razryad) jarayonida ham plazma hosil bo'ladi. Gaz razryadli plazma elektronlar va ionlar gaz razryadni vujudga keltirayotgan elektr tok manбайдan doimo energiya olib turadi. Natijada ionlar va elektronlarning temperaturalari keskin farq qiladi, chunki elektronlar elektr maydonda ko'proq tezlashadi. Masalan, yulqin razryadda elektronlar temperaturasi  $\sim 10000$  K bo'lsa, ionlar temperaturasi  $\sim 2000$  K dan ortmaydi.

Erning ionosferasidagi plazma Quyosh nurlanishi tufayli atmosferadagi gaz molekulalarining fotoionlashuvi natijasida vujudga keladi. Shuning uchun plazmaning bu turi gaz razryadli plazmadan farq qiladi.

Plazma zarralari, huddi oddiy gaz molekulalariga o'hshash betartib harakatda bo'ladi. Lekin neytral molekulalardan tashkil topgan oddiy gazdan farqli ravishda plazma radiotulkinlarni qaytaradi. Buning sababi plazmaning elektromagnit maydon bilan ta'sirlashuvidir.

Plazmaning eng asosiy xususiyati – uning kvazineytralligidir. *Kvazineytrallik* tushunchasi bilan elektronlar na bir xil ionlardan iborat bo'lgan plazma misolida tanishaylik. Bunday plazmada elektronlarning issiqlik harakat tezliklari ionlarnikidan kattaroq bo'ladi. Shuning uchun elektronlar plazmadan tezroq chiqib ketishi va natijada plazmada ionlar miqdorining ortib ketishi tufayli elektr maydon vujudga kelishi lozim edi. Lekin plazmada katta elektr maydonlar vujudga kelmas ekan. Buning sababi quyidagida: plazmaning biror qismida ionlarning to'planib qolishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon chiqib ketayotgan elektronlarga tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi, so'ng ularni orqasiga qaytaradi. Shu tarzda elektronlarning tebranma harakati vujudga keladi. Bu

tebranishlarning chastotasi va amplitudasini topaylik.

Zichligi  $n_e$  bo'lgan elektronlarning  $x$  masofaga siljishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon (bu maydonni birinchi yaqinlashuvda yassi kondensator plastinkalari oralig'idagi elektr maydonga o'hshatsa bo'ladi) kuchlanganligi

$$E = \sigma / \epsilon_0 = - \frac{en_e x}{\epsilon_0} \quad (1.11)$$

ga teng bo'ladi. Bu maydonda elektronga

$$F = eE = - \frac{e^2 n_e x}{\epsilon_0} \quad (1.12)$$

kuch ta'sir etadi. Bu kuch miqdoran siljishga proporsional va siljish yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan. U garmonik tebranishlarni vujudga keltiruvchi kvazielastik kuch ( $F = -kx$ ) ga o'hshashdir. Shuning uchun bu kuch ta'sirida elektron oldinga va orqaga

$$\omega_{pl} = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}} \quad (1.13)$$

chastota bilan harakat qiladi. Bu harakatni *plazma tebranishlari*,  $\omega_{pl}$  ni esa *plazma chastotasi* yoki *lengmyur chastotasi* deyiladi. Albatta, elektronlar bilan ionlar to'qnashuvi natijasida elektronlarning tebranma harakati so'nadi.

Plazma tebranishlari sodir bo'ladigan masofani quyidagi mulohazalar asosida topamiz: elektr maydonda  $x$  masofaga siljigan elektron

$$A = F \cdot x = \frac{e^2 n_e x^2}{\epsilon_0} \quad (1.14)$$

ish bajaradi. Bu ish shu elektron kinetik energiyasining o'rtacha o'zgarishi (tahminan  $kT_e$  ga teng) hisobiga bajariladi. Shuning uchun

$$\frac{e^2 n_e x^2}{\epsilon_0} = kT_e.$$

Bundan 
$$x^2 = \frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e} \quad (1.15)$$

Bu ifoda issiqlik harakati tufayli plazmada zaryadlar fazoviy ajraladigan masofaning maksimal qiymatini aniqlaydi. Odatda, uni *debay radiusi* ( $\lambda_D$ ) deb ataladi:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e}} \quad (1.16)$$

Shunday qilib, debay radiusi zaryadlarning fazoviy ajralish masshtabini, plazma chastotasi esa zaryadlarning ajralmagan holatga qaytish davrini, ya'ni plazmaning zaryad jihatdan neytralligini tiklash davrini harakterlaydi. Bu ikki kattalik plazmaning asosiy harakteristikalari hisoblanadi.

Hulosa qilib aytganda, elektronlar va ionlardan iborat gazni, bu gaz egallagan hajmning chiziqli o'lchamlari debay radiusidan katta bo'lgandagina (faqat shu holdagina kvazineytrallik sharti bajariladi) plazma deb atash mumkin.

Hozirgi vaqtda plazmadan ikki yo'nalishda foydalanish mo'ljallanyapti: 1) boshqariluvchi termoyadro reaksiyalarida; 2) magnitogidrodinamik generatorlarda (MGDG).

#### Naorat savollari

1. Gaz razryadi deb nimaga aytiladi?
2. Ionlar nima?
3. Zarbdan ionlanish nima?
4. Ikkilamchi electron emissiyani tushintiring?
5. Fotoionlanish hodisasini tushintiring?
6. Termoelektron emissiya nima?
7. Plazma nima?