FORMULE:

1--------------------------------------

elektronska gustoća, e naboj elektrona,masa elektrona, dielektričnost vakuma

J ( Joule) = eV / e , 1eV = 11605K

, p[Pa],V[],T [K],M[kg/mol], R = 8.314

Molarna masa-ako je zadana M(H) i H2 onda je M = 2\*M(H)

N- broj molekula

-gustoća čestica,

2---------------------------------------

,- plazmena frekvencija [Hz = ]

, Debyeva duljina(polumjer) ,

– broj čestica u Debyevom oblaku,sferi

3----------------------------------------

zadana temp u eV onda je to termalna energija

– broj elektrona po Debyevoj kocki

početna gustoća broja elektrona

, sudarna frekvencija elektrona i iona,

član ln – numerička vrijednost slabo ovisi o

, - Spitzerova električna vodljivost,Siemens

4------------------------------------------

srednji slobodni put , termalnu brzinu računamo za 1 stupanj,

inače za 3, sad je

,

5------------------------------------------

,- Larmorov polumjer(polumjer kružnog gibanja naboja u ravnini okomitoj na

magnetsko polje)

- elektronska ciklotronska frekvencija

6------------------------------------------

SFERA:

– Boltzman raspodjela,

=e()

Poissonova jednadžba: (- raspodjela naboja)

Pretpostavljena rješenja:

početni uvjeti: 1)

ovisnost o f, graf: r počinje od a, dvije parabole prema dolje,

gornja je – manje zasjenjenje, počinje od, ide prema dolje, ne ide od 0 je unutar sfere

**naboj na sferi:**

kapacitet:

, ,

u vakuumu: ,

kratka velika gustoća elektrona => dielektrik, dugiisto kao u vakumu

------------------------------------------

– plazmena frekvencija

------------------------------------------

, G=e,

**TEORIJA:**

**velike gustoće i temperature** (tokamak)

**Kvantni efekti** postaju važni ako je tipična udaljenost između dvije čestice u plazmi

približno jednaka ili manja od de Broglieve valne duljine čestica

**Kvantni efekti** postaju važniji kako temperatura pada. Za klasičan opis trebamo umjerene vrijednosti temperature. Za kvantni opis trebamo vrlo visoke gustoće

**Debyeva duljina** opisuje doseg električnog polja nekog naboja u plazmi

**Plazma je** u fizici naziv za ionizirani plin i uobičajeno je da se zbog različitih svojstava u odnosu na krutine, tekućine i plinove smatra posebnim agregatnim stanjem tvari(Ionizirani plin, posebno agregatno stanje tvari. ,Barem jedan elektron je odvojen od svojeg atoma ili svoje molekule. Zbog slobodnih nabijenih čestica ,dobar je vodič električne struje ,Čestice u plazmi tvore zajedničko elektromagnetsko polje, svaka čestica reagira sa svim ostalim ,česticama - skupno međudjelovanje.)

**Plazma je u termodinamičkoj ravnoteži** ako sve vrste čestica imaju istu temperaturu. Ako je u ravnoteži i u Deby-evoj sferi se nalazi veliki broj čestica, ponaša se kao idealni plin.

**3 uvjeta plazme**: 1. usklađenost plazme – čestice trebaju biti dovoljno blizu da bi mogle međusobno djelovati, a to se definira s Debyevom sferom 2.plazma je kvazineutralna - jednak broj pozitivnih i negativnih električki 3. plazmena frekvencija (učestalost kojom titraju elektroni ako su pomaknuti iz ravnotežnog položaja) je mnogo veća od sudarne frekvencije

**Karakteristični parametri plazme** **1)** Jednočestični pristup – prati se gibanje jedne čestice u zadanom električnom i magnetskom polju i na temelju toga se zaključuje o ponašanju cijelog sustava, može ako je plazma niske gustoće **2)** Kad su dimenzije plazmenog sustava mnogo veće od srednje udaljenosti čestica, imamo hidrodinamički pristup. Najjednostavniji je magnetohidrodinamički pristup. Ako nema promjena temperature, gustoće, tlaka ili brzine u vremenu, sustav je stacionaran i opisuje se magnetohidrostatičkom aproksimacijom. **3)** Kad plazmu opisujemo hidrodinamikom, potrebno je voditi brigu o različitom ponašanju različitih vrsta čestica. To se može raditi dvokomponentnim ili višekomponentnim modelima, najpoznatiji je Schutlerov 2-komponentni opis **4)** Kinetička teorija

**JEDNOČESTIČNI PRISTUP**, u kojem se prati gibanje jedne čestice u zadanom električnom i magnetskom polju i na temelju toga se zaključuje o svojstvima i ponašanju cijelog sustava., Takav opis nas zadovoljava kad imamo plazmu niske gustoće, ( ) i kad se može zanemariti doprinos električnog i magnetskog polja koji potječe od nabijenih čestica ukupnom vanjskom električnom i magnetskom polju, U stvarnosti je to moguće kod plazme niske gustoće, a u većini stvarnih slučajeva ipak prisustvo čestica utječe značajno na električna i magnetska polja, dimenzije plazmenog sustava mnogo veće od srednje udaljenosti čestica (srednjeg slobodnog puta), a vlastito vrijeme procesa mnogo duže od vremena koje protekne između dva sudara, plazma se može razmatrati kao fluid pa primjenjujemo **HIDRODINAMIČKI PRISTUP**. Metoda se naslanja na **mehaniku fluida** i ne promatra se ponašanje jedne čestice već se prati ponašanje elemenata fluida koji sadrže mnogo čestica. S obzirom da se radi o plazmi, bitna razlika od „običnog“ fluida je u tome što je plazma kao fluid koji sadrži naboje

Da li je MHD primjenjiv kod plazme sa izrazitim razdvajanjem naboja? NE, nego SCHLÜTEROV 2-KOMPONENTNI OPIS.

**Ionizacija** - Pri ionizaciji atoma potrebno je elektronu predati energiju dovoljnu za prijelaz iz vezanog stanja u slobodno stanje

**Ionizacija 3 vrste**: sudarna ionizacija:(u neelas sudaru 2 atoma, u neelast sudaru atoma i slob elektrona), fotoionizacija( apsorpcijom fotona), Procesi su i reverzibilni

**Glavni kvantni broj** – n, broj neke staze u atomu, na koju dolazi čestica nakon dovedene određene količine energije.

**Energija osnovnog stanja** (n=1) – energija vezanja elektrona u atomu vodika ili energija koju je potrebno uložiti da bi se elektron oslobodio iz atoma. Energija ionizacije.

**Osnovni parametri plazmenih sustava** Gustoća čestica**:** Elektroni i ioni drugačije reagiraju na elektromagnetske sile, njihove gustoće se razmatraju kao neovisne varijable. Plazma ne može biti okarakterizirana samo jednom gustoćom. Temperatura:Proporcionalna srednjoj kinetičkoj energiji čestice. Mjeri se u elektronvoltima. Magnetsko polje**:** Mjeri se u T (Tesla).

**Bezdimenzionalni parametri :** Plazmeni parametar:Omjer tlaka plazme i magnetskog tlaka. Reynoldsov broj: Odnos konvektivnog gibanja magnetoplazme i difuzije magnetskog polja. Alfvenov broj: Omjer dinamičkog tlaka plazme i magnetskog tlaka. Omjer elektronske plazmene frekvencije i elektronske ciklotronske frekvencije.

**Kolektivna svojstva plazme** Elektronska plazmena frekvencija Ako premjestimo elektron u neku poziciju, on se vraća natrag i nastavlja titrati oko ravnotežnog položaja. Frekvencija tog titranja je elektronska plazmena frekvencija. Deby-eva duljina Doseg električnog polja nekog naboja u plazmi. Elektrostatski plazmeni valovi Ako zatitramo grupu elektrona u nekoj točki prostora, stvara se promjenjivo električno polje i dolazi do poremećaja naboja. Nastaje elektrostatski val koji titra plazmenom frekvencijom- Langmuirov val Landauovo prigušenje Čestica se giba brzinom bliskom brzini gibanja langmuirova vala. To je slučaj rezonancije, pa val i čestica međudjeluju. Landauovo prigušenje – dolazi do razmjene energije jedne čestice i kolektivnog poremećaja koji predstavlja val.

**Landauova prigušenja:** proces u kojem val predaje energiju značajnom broju elektrona što dovodi do njegovog prigušenja, se javlja u slučaju rezonancije nabijene čestice i elektromagnetskog vala pri čemu dolazi do razmjene energije jedne čestice i kolektivnog poremećaja koji predstavlja val., Elektrostatski val fazne brzine koja je nekoliko puta veća od termalne brzine elektrona , sreće vrlo mali broj rezonantnih elektrona s kojima može izmijeniti energiju pa se može širiti plazmom Kad je fazna brzina usporediva ili manja od termičke brzine , val predaje energiju značajnom broju elektrona pa je val vrlo brzo prigušen:

**Ponašanje jedne čestice – dvočestični sudar** Svaka nabijena čestica u plazmi istodobno doživljava sudar s mnoštvom čestica podjednakim intenzitetom. Tek vrlo rijetko dolazi do dvočestičnog sudara. Ovo svojstvo nam pokazuje da je za opis plazmenog sustava pogodniji kolektivni pristup. Spitzerova vodljivost Vodljivost koja se temelji samo na razmatranju dvojnih sudara. Anomalna vodljivost – kad su pobuđeni elektrostatski valovi te dolazi do raspršenja elektrona i na električnom polju vala, povećava se efektivna učestalost sudara pa je vodljivost manja od spitzerove. Proces bježanja elektrona Pojavi li se dovoljno jako vanjsko električno polje i ako se elektroni dovoljno ubrzaju, oni pobjegnu iz sustava. Elektroneutralnost se uspostavlja povratnom strujom u ostatku plazme za koju nije uspostavljen režim bježanja – tzv. pozadinska plazma.Efekt masovnog bježanja počinje ako elektroni između dva uzastopna sudara dobiju energiju veću od termičke.

**SAHA**: - stupanj ionizacije za slabo neidelano plazmu, gustoća broja ioniziranih atoma (kod vodikove plazme jednaka je gustoći broja elektrona ), gustoća broja neutralnih atoma, energija ionizacije, T – temperatura plina, –doprinos sudarnoj ionizaciji, kad je jako mali broj nema skoro ništa ioniziranih čestica pa plin nije plazma, član je rekombinacijski član koji predstavlja doprions sudarne ionizacije

Z**asjenjenje** - hladnu plazmu vodikovog tipa i u nju uvesti točkasti pozitivni naboj Q, Uneseni pozitivni naboj će privlačiti okolne elektrone i odbijati pozitivne ione tako da će biti elektrostatski zasjenjen i izvan stvorenog oblaka naboja (Debyev oblak) njegovo polje će iščezavati elektrostatsko zasjenjenje ima fizikalni smisao samo ako se u oblaku oko nekog naboja nalazi velik broj čestica,ako u zasjenjenju sudjeluje malo čestica, većinu vremena će uneseni naboj biti nezasjenjen u mnogim smjerovima

**Raspodjela elektrona** : U slučaju plazme s Maxwellovom raspodjelom elektrona koja je okarakterizirana termičkom brzinom vTe , broj elektrona s komponentom brzine u smjeru vala nekoliko puta većom od termičke brzine, eksponencijalno opada s kinetičkom energijom,Pri Maxwellovoj raspodjeli elektrona dio elektrona koji mogu pobjeći iz sustava je zanemariv, Dio elektrona u repu Maxwellove raspodjele (elektroni s brzinom većom od neke kritične vrijednosti za dano polje) uopće ne doživljavaju sudare i snop brzih elektrona napušta plazmeni sustav u smjeru suprotnom od smjera električnog polja

**Frekvencija sudara:**  kao prosječnu učestalost kojom se čestice tipa r sudaraju s česticama tipa s., Možemo definirati 2 tipa sudara: 1) nabijenih i neutralnih čestica ,2) nabijenih čestica, formule:

1) , , termalna brzina nabijenih čestica tipa *s, -* gustoća broja čestica neutralnog plina,-sudarni udarni presjek s neutralnim atomima, Za sudare između nabijenih čestica tipa s i neutralnih čestica tipa n sila međudjelovanja ima vrlo kratki domet i proces raspršenja je sličan raspršenju od teške sfere

2) S obzirom da je Coulombova sila dugog dosega, sudari između nabijenih čestica se kvantitativno razlikuju od sudara između nabijenih i neutralnih čestica

**frekvencija sudara mnogo manja od ciklotronske frekvencije**, čestica će učiniti mnogo okreta prije nego li je neki sudar odbaci do neke druge vodeće silnice (silnica u središtu ciklotronskog okretanja). Plazma je magnetizirana

**frekvencija sudara mnogo veća od ciklotronske frekvencije**, ciklotronsko gibanje je od manje važnosti i čestica vrlo često preskače na razne vodeće silnice pa nasumično gibanje dominira nad uređenim ciklotronskim gibanjem pa je učinak magnetskog polja zanemariv.

**TEORETSKE FORMULE**:**raspodjela elektrona :**  *,* , vrijedi za ,,-srednji slobodni put za elektron, ,-procjena trajanja sudara, u- brzina, , sudarni parametar, ,-srednji slobodni put za fuzisjki sudar,komponenta brzine okomita na smjer magnetskog polja , r - polumjer zakrivljenosti putanje, ω - kutna brzina ili kružna frekvencija,Planckove konstante , - polumjer kvantne staze elektrona, , - Alfenov broj: (omjer dinamičkog tlaka plazme i magnetskog tlaka (omjer gustoće kinetičke energije i gustoće magnetske energije), , Plazmeni parametar određuje odnos gustoće unutrašnje energije plazme i gustoće energije magnetskog polja, , , Reynoldsov magnetski broj: (mjeri odnos konvektivnoga gibanja magnetoplazme i difuzije magnetskog polja), l – dimenzija sustava, u – brzina plazme, – magnetska difuznost, – električna vodljivost