

Agregatno stanje plazme

1

Agregatna stanja

- Tri uobičajena agregatna stanja u kojima se javlja materija na Zemlji su: kristal, tečnost i gas.
- Otkrivene su mnoge zakonitosti i osobenosti njihove strukture kao i uslovi pod kojima se odigravaju prelazi iz jednog agregatnog stanja u drugo.
- Svako od ovih stanja se karakteriše određenim stepenom unutrašnje uređenosti, što nameće i ograničenje u pogledu energije koju jedna čestica može imati.

Kristal

- Veoma mala energija po jednoj čestici (čestice su atomi i joni kristalne rešetke).
 - Kristalna rešetka predstavlja uređeni raspored elementarnih jedinki supstance (atoma, molekula ili jona).
- Srednja energija je reda veličine 10^{-2} eV – što ima za posledicu da su položaji čestica u kristalu skoro potpuno fiksirani i njihovo termalno kretanje se svodi samo na oscilovanje oko tih ravnotežnih položaja.
 - šta je elektron-volt?
- Šta se dešava ako se kristalu dovodi energija (zagrevanje)?

Tečnost

- Čestice (molekuli) imaju veću energiju (10^{-1} eV) i usled toga se kreću mnogo slobodnije.
- Molekularne sile su vrlo izrađene i dovode do formiranja većih skupina labavo vezanih molekula (“grozdova”).
- Termalno kretanje se manifestuje kao intenzivno podrhtavanje oko nekog srednjeg položaja, pri čemu dolazi do čestih sudara i izmene molekula.
- Do čega dovodi povećanje srednje energije po čestici?

Gas

- Najneuređenije agregatno stanje – svaka čestica (molekul ili atom) kreće se praktično nezavisno od ostalih.
- Srednja energija po čestici je veoma visoka, do 1 eV.
- Međumolekularne sile (Van der Waals-ove sile) srazmerno malo utiču na kretanje čestica – ove sile se znatnije tek ispoljavaju samo u momentima sudara, dok između sudara čestice gasa se kreću slobodno – cik-cak putanje.

?

- Šta će se desiti ako se gasu dalje dovodi energija, tj. ako se njegova temperatura i dalje povećava?

$$\bar{\mathcal{E}}_K = \frac{3}{2} kT$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

- Srednja kinetička energija će biti reda veličine 1 eV na temperaturi koja vrlo približno iznosi 11600 K.
- ekvivalencija: 1eV=11600 K

$$\bar{\mathcal{E}}_K$$

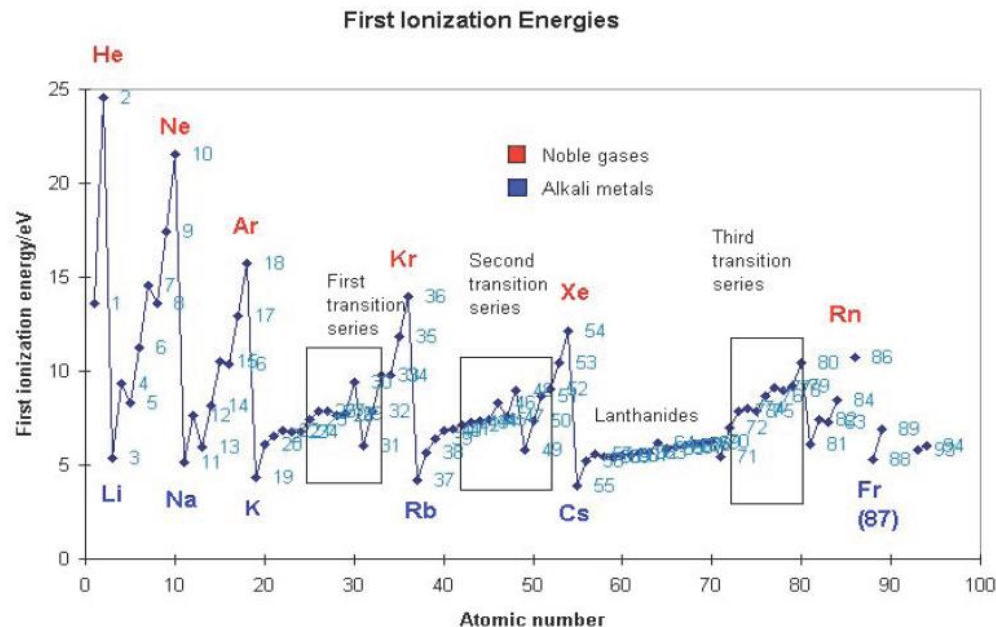
10^{-2} eV, 10^{-1} eV do 1 eV....šta ako je 10 eV?

PLAZMA (πλάσμα)

- Gasna plazma (Langmuir, 1929) - agregatno stanje sa velikom srednjom energijom po čestici, oko 10 eV.
- Dovođenje energije ima za posledicu povećanje srednje brzine kretanja čestica, i ove se zbog toga međusobno sudaraju sa sve većim energijama.
- Pored elastičnih sudara koji su prisutni i u običnom gasu, počinju se javljati i razni neelastični procesi (tzv. *sudari druge vrste*), među kojima važno mesto zauzima ***jonizacija gasnih atoma***.
 - Šta je jonizacija?
 - Šta je energija jonizacije?

Energija jonizacije

- Da bi došlo do jonizacije atoma koji se sudaraju, potrebno je da energija bar jednog od ova dva atoma bude veća od **energije jonizacije** – energija koju je potrebno dovesti atomskom omotaču da bi se jedan njegov elektron oslobodio svih unutaratomskih interakcija i udaljio od jezgra u beskonačnost.

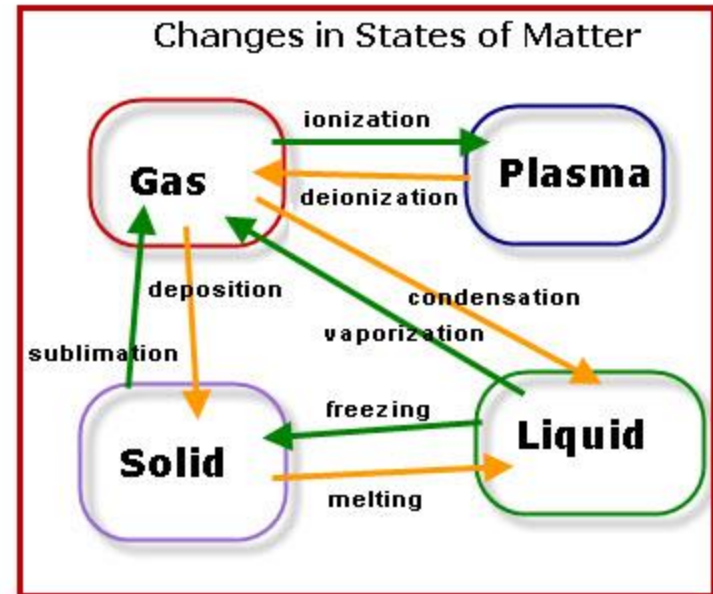
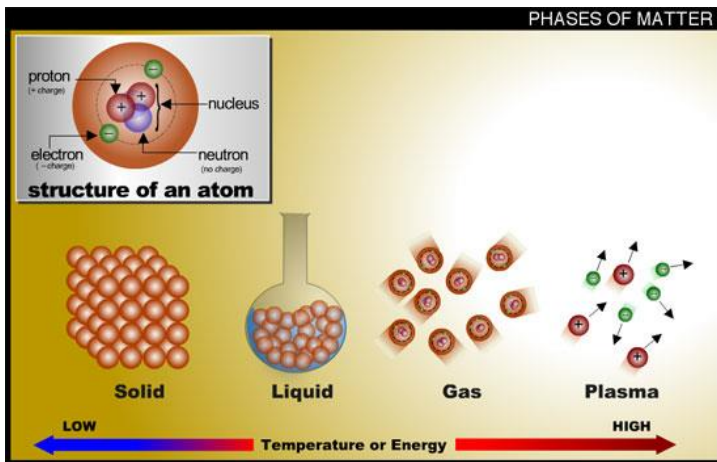
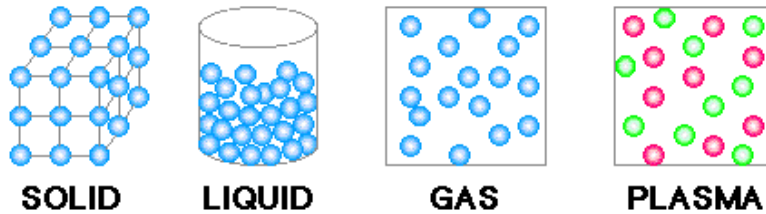


Termalna jonizacija

- Za većinu atoma energija jonizacije iznosi oko 10 eV, što odgovara srednjoj energiji termalnog kretanja atoma gasa na temperaturi od oko 116000 K, usled čega se jonizacija posredstvom neelastičnih sudara između atoma zove **termalna jonizacija**.
- Uporedo sa jonizacijom odvija se i inverzan proces **rekombinacija** – neelastični sudar između elektrona i pozitivnog jona, čiji je ishod “zarobljavanje” elektrona i formiranje jednog neutralnog atoma.

changes in state of matter

States of Matter



Šta je plazma?

- Četvrto agregatno stanje.
- Prelaz iz stanja gasa u stanje plazme je prelaz izvesnog procenta prisutnih atoma iz nejonizovanog u jonizovano stanje.
- Visokoteperaturni gas sa jonizovanim atomima i elektronima koji se, poput čestica u običnom gasu, haotično kreću i sudaraju, pri čemu su brzine kretanja i energija sudara znatno više od onih kod neutralog gasa.
- **Plazma = jonizovani gas.**

Razlike između plazme i neutralog gasa

- U plazmi je prisutno znatno elektromagnetno (mikroskopsko) polje koje brzo fluktuiraju u vremenu i jako se menja od tačke do tačke, a uz to Lorencovom silom utiče na kretanje naelektrisanih čestica plazme.
- Mikroskopsko EM polje je određeno položajima i brzinama čestica plazme.
- **Kolektivna interakcija** – posredstvom elektromagnetnog polja koje potiče od svih čestica plazme zajedno, svaka pojedinačna čestica istovremeno interaguje sa svim ostalim česticama Kulonovim silama.
- **Parna interakcija** – binarni sudari.

Plazma

- Sistem sestavljen od naelektrisanih (ili delom neutralnih i delom naelektrisanih, jonizovanih) čestica, ali pod uslovom da fizičkim ponašanjem tog sistema dominira kolektivna interakcija uslovljena elektromagnetnim poljem koje potiče od svih prisutnih naelektrisanih čestica zajedno.

Za domaći

- U tipičnim laboratorijskim plazmama je

$$n=10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ i } T\sim 5\text{eV}$$

- Proceniti vrednosti za E_{mik} i B_{mik} .

- srednja brzina termalnog kretanja elektrona u plazmi je

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$$

Plazma u prirodi

- U zemaljskim uslovima plazma predstavlja retku formu postojanja materije.
 - **Munja** je vidljivo pražnjenje atmosferskog elektriciteta do kojeg dolazi kad određeno područje atmosfere postane naelektrisano ili se pojavi razlika potencijala dovoljna da savlada otpor vazduha. Najčešće udara iz olujnih oblaka kumulonimbusa. Tokom oluje munja se može pojaviti u oblaku, između oblaka, između oblaka i vazduha te između oblaka i tla.



Severna svetlost

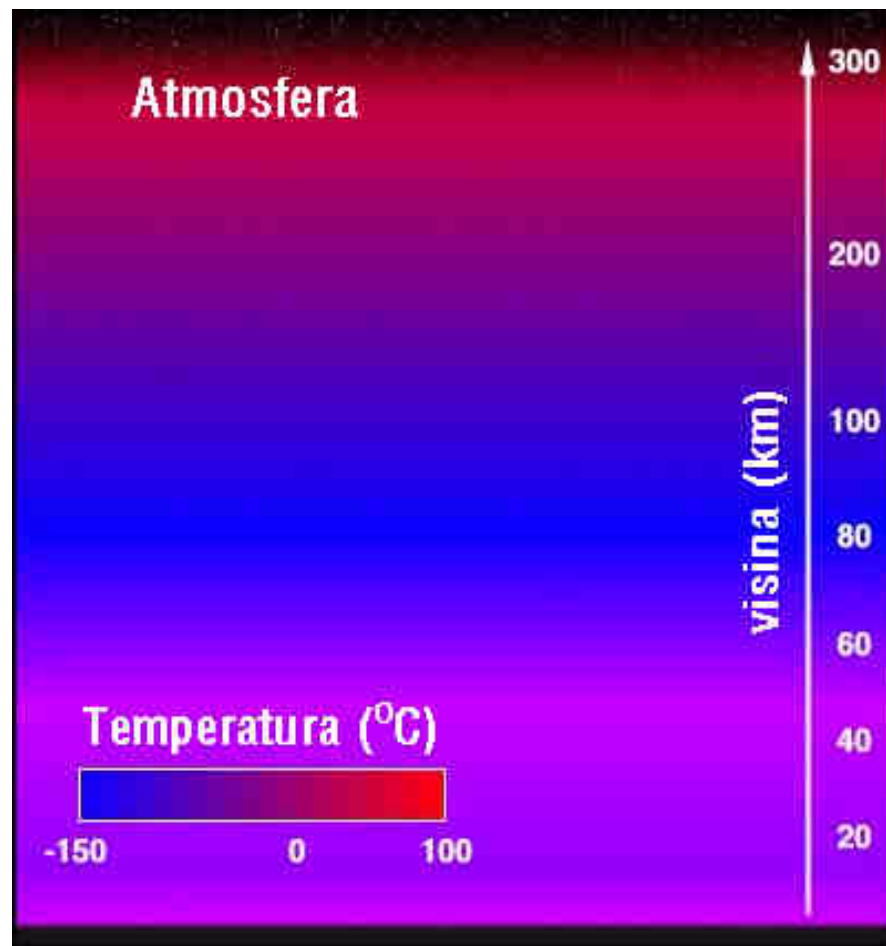
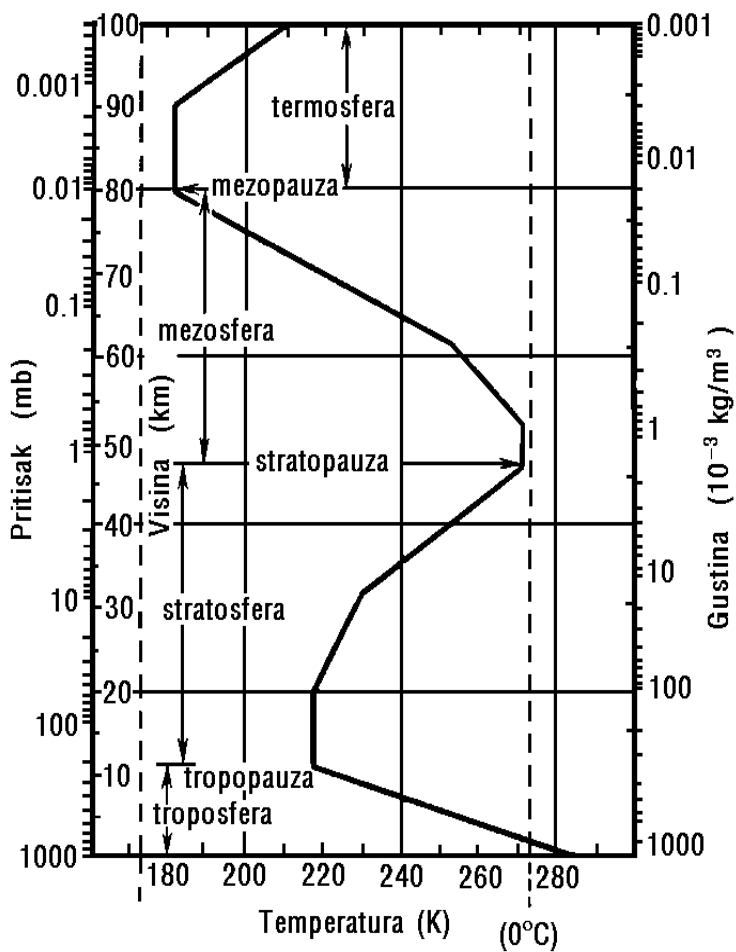
- ❑ Polarna svetlost (lat. aurora polaris) je svetljenje noćnog neba, obično u polarnim zonama. Na severu se naziva aurora borealis (lat. Aurora borealis), a kada se javi na Južnom polu aurora australis (lat. aurora australis).
- ❑ Danas je poznato da auroru izazivaju elektroni sa energijama u opsegu 1-15 keV, tj. elektroni koji su ubrzani naponom od 1000 V do 15.000 V. Svetlost nastaje kada se ti elektroni sudaraju sa atomima u gornjim slojevima atmosfere, obično na visinama 80-150 km.
- ❑ <http://opusteno.rs/zanimljivosti-f19/prirodni-fenomen-polarna-svetlost-aurora-t9925.html>



Jonosfera

- Jonosfera je deo Zemljine atmosfere gde količina jona, ili naelektrisanih čestica, nastalih djelovanjem uglavnom Sunčeve radijacije na neutralne atome i molekule vazduha, je dovoljno velika da utiče na prostiranje radio talasa.
- Jonosfera počinje na visini od 50 km od površine Zemlje, ali se lakše uočava na visini od 80 km. Čine je smeše gasa neutralnih atoma i molekula (uglavnom kiseonik i azot) i kvazineutralna plazma (broj negativno naelektrisanih čestica je otprilike jednak broju pozitivno naelektrisanih).
- U jonosferi se javljaju jonosferne magnetske bure i polarna svetlost.

Raspodela temperature po visini



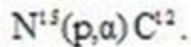
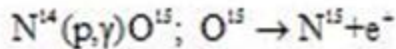
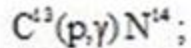
Plazma u vasioni

- U vasioni plazma je dominantno agregatno stanje (preko 90 % celokupne materije vasiona nalazi se u stanju plazme, delom kao
 - *stelarna plazma* (zvezde),
 - a delom u obliku *interstelarnog* (međuzvezdanog) gasa koji se odlikuje veomalom gustinom (ne vise od jedne čestice po cm^3 i srazmerno niskom temperaturom).

Stelarna plazma

- velika gustina, visoka temperatura, intenzivna termalna jonizacija, sva atomska jezgra potpuno “oljuštena”, koja se često sudaraju u stupaju u nuklearne reakcije (termonuklearne reakcije).

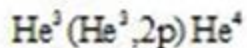
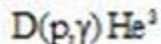
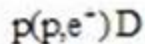
1. *Bethe-ov* ugljenični ciklus, za čije odvijanje je neophodno prisustvo izotopa C^{12} .



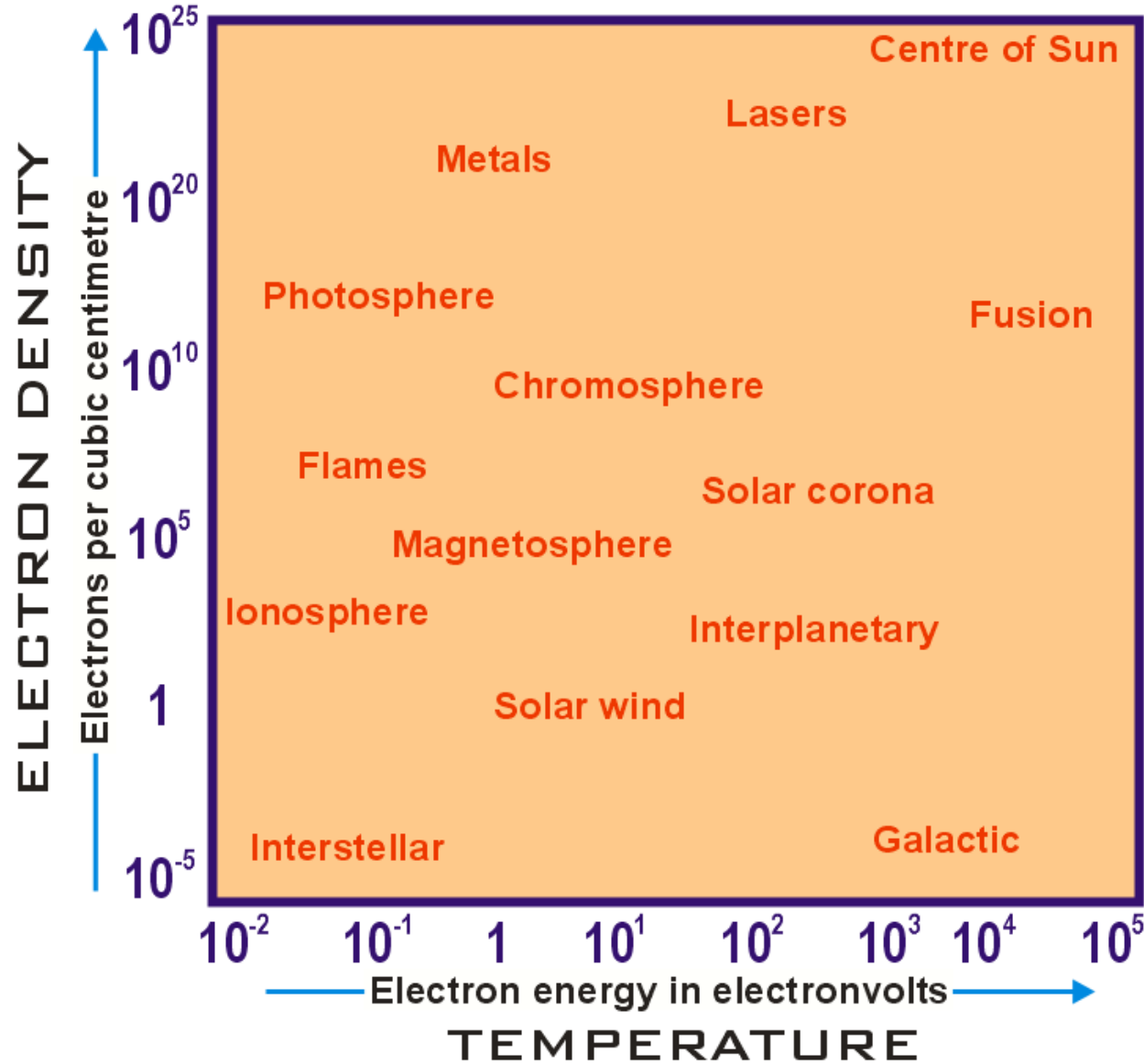
Ovde e^{+} označava pozitron. Na kraju akta oslobađa se energija od 26.7 MeV po jednom aktu.

Ovaj ciklus je karakterističan za velike zvezde.

2. *Pozitronski* ciklus (karakterističan za manje zvezde sa nižom temperaturom:



RANGES OF PLASMAS



INDUSTRIAL / COMMERCIAL APPLICATIONS OF PLASMAS

Processing:

- Surface Processing
- Nonequilibrium (low pressure)
- Thermal (high pressure)

Volume Processing:

- Flue gas treatment
- Metal recovery
- Waste treatment

Chemical Synthesis:

- Plasma spraying
- Diamond film deposition
- Ceramic powders

Light Sources:

- High intensity discharge lamps
- Low pressure lamps
- Specialty sources

Surface Treatment:

- Ion implantation
- Hardening
- Welding
- Cutting
- Drilling

Propulsion

Flat-Panel Displays:

- Field-emitter arrays
- Plasma displays

Radiation Processing:

- Water purification
- Plant growth

Switches:

- Electric power
- Pulsed power

Energy Converters:

- MHD converters
- Thermionic energy converters

Medicine:

- Surface treatment
- Instrument sterilization

Isotope Separation

Beam Sources

Lasers

Material Analysis

Procena intenziteta mikroskopskog električnog i magnetnog polja u plazmi

Ako je n broj čestica po jedinici zapremine plazme, onda je $d \sim n^{-1/3}$ srednje rastojanje između dve susedne čestice, pa je srednje mikroskopsko električno polje (električno polje kojim jedna naelektrisana čestica deluje na svog "najbližeg" suseda) reda veličine

$$E_{mik} \sim \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{d^2} \sim \frac{1}{4\pi\epsilon_0} e n^{2/3}$$

Ako sa T označimo temperaturu plazme i uzmemo u obzir da je $\sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$ srednja brzina termalnog kretanja elektrona u njoj, (m_e je masa elektrona), onda svaki electron deluje na "najbližeg suseda" magnetnim poljem reda veličine

$$B_{mik} \sim \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{e v}{d^2} \sim \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3kT}{m_e} \right)^{1/2} e n^{2/3}$$

Ekvivalencija 1 eV = 11600 K

Procenite vrednosti za E_{mik} i B_{mik} u tipičnom laboratorijskom slučaju kada je $n \sim 10^{21} m^{-3}$, $T \sim 5 eV \approx 60000 K$.