

Sem- 4 (NEP-2023) MINOR SC23MIDSCPHY402

Unit-2: PLASMA PHYSICS

प्लाज्मा भौतिकशास्त्र (Plasma Physics)

➤ Syllabus :

- Introduction (1.1), Composition & Characteristic of Plasma (1.2), Collisions (1.3), Elastic Collision (1.3.1), Inelastic Collision (1.3.2), Surface Phenomena (1.4), Transport Phenomena (1.5), Diffusion & Mobility (1.6), Viscosity, Conductivity (1.7), Recombination (1.8), Ohm's law (1.9), Gas Discharge (1.10), Composition of various natural & Man-made Plasma (1.11), Plasma diagnostics (1.12), Plasma waves & Instabilities Confinement of Plasma (1.13), Space Plasma (1.14)

❖ Reference Book:

(1) Elements of Plasma

By: S. N. Goswami Publication: New Central Book Agency
(P) Ltd. Calcutta.

COURSE (LEARNING) OUTCOMES OF PLASMA

- On completion of the course, the student should be able to:
 - define, using fundamental plasma parameters, under what conditions an ionized gas consisting of charged particles (electrons and ions) can be treated as a plasma distinguish the single particle approach, fluid approach and kinetic statistical approach to describe different plasma phenomena
 - determine the velocities, both fast and slow (drift velocities), of charged particles moving in electric and magnetic fields that are either uniform or very slowly in space and time
 - classify the electrostatic and electromagnetic waves that can propagate in magnetized and non-magnetized plasmas, and describe the physical mechanisms generating these waves
 - define and determine the basic transport phenomena such as plasma resistivity, diffusion (classical and anomalous) and mobility as a function of collision frequency and of the fundamental parameters for both magnetized and non-magnetized plasmas

પ્રસ્તાવના: (1.1)

પદાર્થના ત્રણ સ્વરૂપો જાણીતા છે. જેવા કે ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ. આ ઉપરાંત પદાર્થ નું ચોથું સ્વરૂપ એ પ્લાઝમા અવસ્થા છે.

ઘન → પ્રવાહી → વાયુ → પ્લાઝમા અવસ્થા

પ્લાઝમા એટલે પદાર્થ ની ચોથી અવસ્થા જે આયનીકૃત પછીની અવસ્થા છે. પ્લાઝમા શબ્દ નો પ્રયોગ સૌપ્રથમ ૧૯૨૩માં અમેરિકાના ભૌતિક વિજ્ઞાની Irving Langmuir (1928) (લાન્ગમુર) અને ટોન્કસે એ કર્યો હતો. વાયુ અવસ્થામાં તટસ્થ અણુઓ હોય છે, પરંતુ પ્લાઝમા મોટાભાગે વિદ્યુતભારિત અને અંશતઃ તટસ્થ અણુઓ હોય છે. પ્લાઝમામાં ઘન આયનો અને ઋણ આયનો ની સંખ્યા સરખી હોય છે. તેથી કુલ વિદ્યુતભાર શૂન્ય થાય છે. પ્લાઝમા વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ છે. બ્રહ્માંડમાં આશરે 99% તત્વો પ્લાઝમા અવસ્થા ધરાવે છે.

પ્લાઝમામાં ઇલેક્ટ્રોન અને આયનો સતત ગતિશીલ હોય છે. તેઓ વિદ્યુતપ્રવાહ નું નિર્માણ કરે છે. આયનો ઇલેક્ટ્રોન કરતા વજનમાં ભારે હોવાથી તેમનો વેગ ઇલેક્ટ્રોન ના વેગ કરતા ઓછો હોય છે. આથી પ્લાઝમામાં મુખ્યત્વે ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા વિદ્યુતપ્રવાહ નું નિર્માણ થાય છે. આ ઇલેક્ટ્રોન આયનોના પશ્ચાદ ભૂમિકામાં ગતિ કરે છે. આમ પ્લાઝમા વિદ્યુત ની દ્રષ્ટિએ તટસ્થ છે. પણ વિદ્યુતવાહક છે. પ્લાઝમા વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો સાથે પ્રતિક્રિયા કરી શકે છે.

વાયુરૂપ પ્લાઝમા વિદ્યુતવાહક છે. સામાન્ય વાયુ અને વાયુરૂપ પ્લાઝમા વચ્ચેનો મુખ્ય ભેદ એ છે કે સામાન્ય વાયુમાં અણુ- અણુઓ વચ્ચે લાગતાં આંતર અણુ બળો લઘુ અંતર સુધી જ આકર્ષણબળ લગાડી શકે છે. આથી આવા વાયુનો કોઈ પણ અણુ પોતાના થોડા જ પાડોશી અણુઓ સાથે જ આંતરક્રિયા કરી શકે છે. જ્યારે વાયુરૂપ પ્લાઝમામાં આંતર અણુબળ ગુરુ અંતરીય એવા કુલંબ પ્રકારના છે. આમ પ્લાઝમામાં કોઈપણ આયન કે ઇલેક્ટ્રોન ખૂબ મોટા અંતર સુધી રહેલા આયનો અને ઇલેક્ટ્રોન સાથે પ્રતિક્રિયા કરી શકે છે. પ્લાઝમા ભૌતિકશાસ્ત્ર નો અભ્યાસ નીચેના કારણો ને લીધે પણ મહત્વનો છે.

- અવકાશી પદાર્થોમાં ઊંચા તાપમાનવાળા પ્લાઝમા અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આથી અવકાશ વિજ્ઞાનની દ્રષ્ટિએ પ્લાઝમા નો અભ્યાસ અગત્યનો બની જાય છે. દા.ત. સૂર્ય તારા વગેરેનો અભ્યાસ
- ખૂબ જ ઊંચા તાપમાને રહેલા પ્લાઝમા ને જો નિયંત્રણ હેઠળ રાખી શકીએ તો નિયંત્રણ હેઠળની ન્યુક્લિયર સંલયન પ્રક્રિયાઓ મળી શકે છે, અને ઊર્જાનો એક મોટો સ્રોત મેળવી શકાય છે.
- પ્લાઝમા ટ્રીટમેન્ટ વડે દ્રવ્ય ને અમુક ઇચ્છનીય ગુણધર્મ આપી શકાય છે.
- જ્યાં આંતરકણ પ્રક્રિયાઓ કુલંબ બળો કરતા સહેજ જુદી પડતી હોય તેવા દ્રવ્યોના અભ્યાસ પ્લાઝમા તંત્રને સંદર્ભ તંત્ર તરીકે લઈ શકાય છે, અને આવા દ્રવ્યના ગુણધર્મો મેળવી શકાય છે. ધાતુના આવા મોડેલને જેલીયમ મોડેલ કહે છે. એમોનિયા માં બનાવેલા સોડિયમના દ્રાવણને પ્લાઝમા ગણી શકાય છે.

પ્લાઝમા નો અભ્યાસ મુખ્યત્વે બે કારણોસર અગત્યનો છે.

(1) ઊર્જા સ્રોત મેળવવા (સંલયન ઘટના)

(2) પૃથ્વીના ઉદભવનો ખ્યાલ મેળવવા

પ્લાઝમા ની વિશિષ્ટ લાક્ષણિકતાઓ: (1.2)

પ્લાઝમા અને સામાન્ય વાયુના બંધારણ તાપમાનને અનુલક્ષીને જુદા છે. સામાન્ય વાયુના અણુઓની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા સરખી હોય છે, જ્યારે પ્લાઝમામાં ઇલેક્ટ્રોન, આયન અને તટસ્થ કણોની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા જુદી-જુદી હોય છે. ઇલેક્ટ્રોનની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા, આયનોની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા કરતા વધારે હોય છે, અને આયનોની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા તટસ્થ અણુઓની ગતિ ઊર્જા કરતા વધારે હોય છે.

• સામાન્ય તાપમાને અને દબાણે સામાન્ય વાયુ સ્વરૂપએ વિદ્યુતનું અવાહક છે, જ્યારે ઊંચા તાપમાને રહેલા વાયુરૂપ પ્લાઝમા એ વિદ્યુતના સુવાહક છે. દા.ત. 1KeV તાપમાને રહેલા વાયુરૂપ પ્લાઝમાની વાહકતા તાંબાની વાહકતા જેટલી હોય છે. પ્લાઝમા ભૌતિકશાસ્ત્રમાં તાપમાન ઇલેક્ટ્રોન વોલ્ટ(eV) ના એકમમાં માપવામાં આવે છે.

- વિદ્યુતક્ષેત્ર કે ચુંબકીયક્ષેત્રની સામાન્ય વાયુ પર અસર થતી નથી, જ્યારે પ્લાઝમા પર બંને ક્ષેત્રોની અસર થાય છે, આથી તેના ઘણા બધા લાભ છે.
- પ્લાઝમા પર નાનું વિદ્યુતક્ષેત્ર લગાડતા ખૂબ મોટો વિદ્યુત પ્રવાહ નિર્માણ પામે છે. આ વિદ્યુત પ્રવાહ ને કારણે ઉત્પન્ન થતાં ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે પ્લાઝમાની આંતરક્રિયા થાય છે.
- વિદ્યુતક્ષેત્ર અને ચુંબકીયક્ષેત્રની મદદ વડે પ્લાઝમા પર નિયંત્રણ મેળવી શકાય છે. જે સામાન્ય વાયુમાં શક્ય નથી.
- પ્લાઝમાનો ડાય ઇલેક્ટ્રીક અચળાંક મોટો છે. તેથી તે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો સાથે પ્રબળ રીતે આંતરક્રિયા કરી શકે છે. ચોક્કસ પ્રાયલો દ્વારા નક્કી થતી ચોક્કસ આવૃત્તિ કરતા ઓછી આવૃત્તિ વાળા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો પ્લાઝમા પસાર થઈ શકતા નથી. તેમનું પરાવર્તન થાય છે. તેથી રેડિયો પ્રસારણમાં તરંગોનું આયનોસ્ફિયર માંથી પરાવર્તન થવાથી રેડિયો પ્રસારણ શક્ય બન્યું છે.

અર્ધશિથિલતા (Quasi Neutrality):

પ્લાઝમા વિદ્યુતકિય રીતે તટસ્થ છે. આનો અર્થ એવો થાય છે કે પ્લાઝમા ના કોઈપણ બિંદુએ સ્થાયી રીતે વધારાનો ધન કે ઋણ વીજભાર જમા થતો નથી.

$$n_i \approx n_e \text{ \& \; } |n_i - n_e| \ll n_i \text{ or } n_e$$

જ્યાં n_i & n_e એ અનુક્રમે આયન અને ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા છે. જો પ્લાઝમાની વિદ્યુત તટસ્થતાની પરિસ્થિતિમાં થોડો ફેરફાર થાય તો પણ મોટું વિદ્યુત ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. દા.ત. ધારો કે 0.01 mm ત્રિજ્યાના ગોળાકાર પ્લાઝમામાં $n_e \approx 10^{17}/m^3$ છે. હવે જો n_i નું મૂલ્ય n_e કરતા 1% જેટલું પણ વધી જાય તો કેન્દ્રથી r અંતરે ઉદ્ભવતું વિદ્યુત ક્ષેત્ર

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \frac{(n_i - n_e)e}{r^2}$$

$$|\vec{E}| = \frac{1}{3} \cdot \frac{(n_i - n_e)er}{\epsilon_0}$$

But, $(n_i - n_e) = \frac{n_e}{100}$

$$|\vec{E}| = \frac{1}{3} \times \frac{10^{17}}{10^2} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.01}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$|\vec{E}| \cong 60,000 \text{ V/m}$$

આટલા મોટા ક્ષેત્રમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થવાને કારણે મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન ખૂબ જ મોટા વેગથી ગતિ કરીને જે ભાગમાં ગરબડ થઈ હોય તે સ્થાને જઈ તરત જ નાશ પામે છે, એટલે કે તટસ્થતા તરત જ સ્થાપિત થઈ જાય છે. એટલે કે $n_i \approx n_e$

આ સ્થિતિને પ્લાઝમામાં અર્ધશિથિલતા (Quasi Neutrality)

$n_i \approx n_e$ & $|n_i - n_e| \ll n_i$ or n_e કહે છે.

સંઘાત (Collisions): (1.3)

જ્યારે પ્લાઝમાના કે વાયુના અણુઓ એકબીજાની નજીક આવે ત્યારે તેમના વેગમાન, દિશા અને આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર અનુભવે તો અથડામણ થઈ છે તેમ કહેવાય. અથડામણ ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર ના અભ્યાસમાં મહત્વની છે. અથડામણ દ્વારા જ ઉષ્મીય સંતુલન શક્ય બને છે. જો આપેલ કણની બીજા કોઈ એક કણ સાથે પ્રતિક્રિયા થાય તો અથડામણ બાયનરી(binary) કહેવાય છે. જો 3 કણો ભાગ ભજવે તો Ternary કહેવાય. પ્લાઝમા અણુઓ વચ્ચેની અથડામણ જુદા જ પ્રકારની હોય છે. અહીં એક ઇલેક્ટ્રોન નજીકના ઘણા બધા અણુઓ સાથે આંતરક્રિયા કરે છે. તથા કુલંબક્ષેત્રના કારણે દુરના અંતર સુધી આંતરક્રિયા કરે છે.

જો બે અણુઓ(તટસ્થ) વચ્ચેનું અંતર r હોય તો તેમની વચ્ચે લાગતું બળ r^{-6} to r^{-7} ના ક્રમનું હોય છે. જેને વાન્ડરવાલ બળ કહે છે. જે લઘુ અંતરીય છે. સામાન્ય સંજોગોમાં આ બળોની અવધિ કરતા આંતર અણુ

અંતરો મોટા હોય છે, અને દરેક અણુ મુક્ત ગતિ કરે છે. ઉષ્મીય ગતિ દરમિયાન બે અણુઓ વચ્ચે નું અંતર અવધી કરતાં ઘણું ઓછું થઈ જાય છે, ત્યારે બે અણુ અથડામણ અનુભવે છે. જે સ્પર્શ કરે તેવા અંતરે મળે છે. આવી અથડામણોને hard અથડામણ કહે છે, અને પ્રકીર્ણ ખૂણા નું મૂલ્ય મોટું હોય છે. જ્યારે વિદ્યુતભારિત કણોમાં બળ $F \propto r^{-2}$ (કુલંબ બળ) છે.

અંતર ની સાપેક્ષે ફેરફાર ઓછો મળે છે જે ગુરુ અંતરિય બળ છે. જે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા છે.

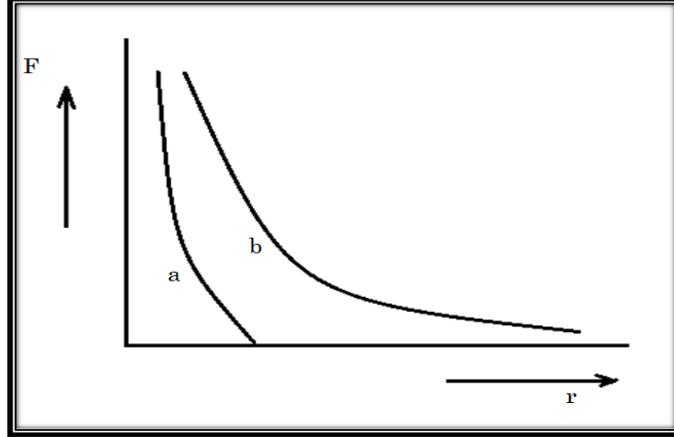
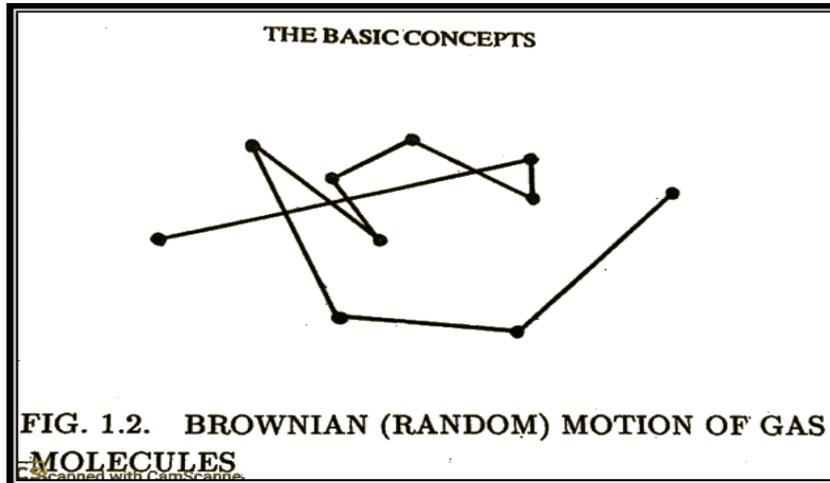


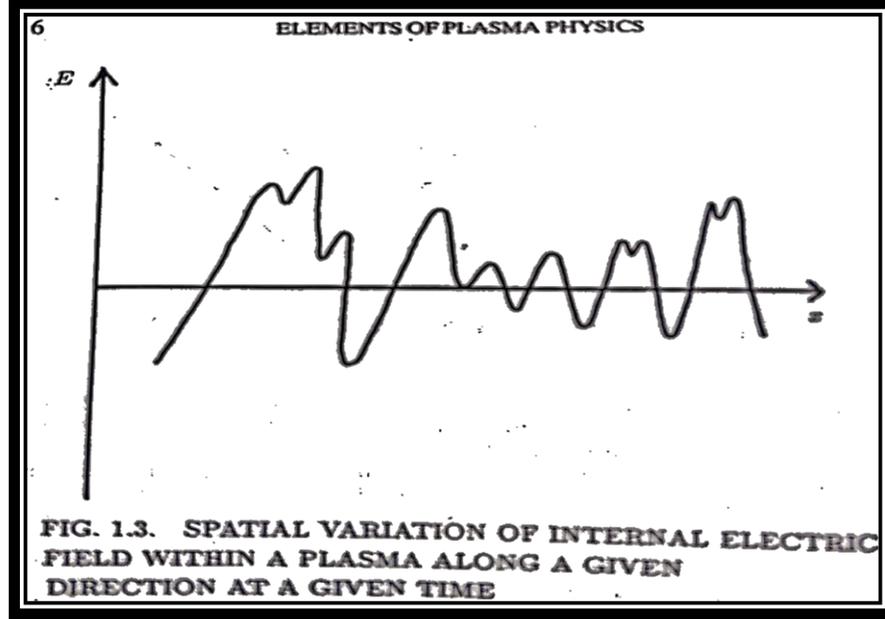
Fig: Nature of Variation of Force F with r between two
(a) Neutral (b) Charged Particles

બે ક્રમિક અથડામણ વચ્ચે અણુ મુક્ત રીતે ગતિ કરે છે. આથી અણુનો ગતિમાર્ગ Zigzag (જીગજાગ) જેવો હોય છે. આ ગતિને બ્રાઉનીયન ગતિ કહે છે. જે આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.

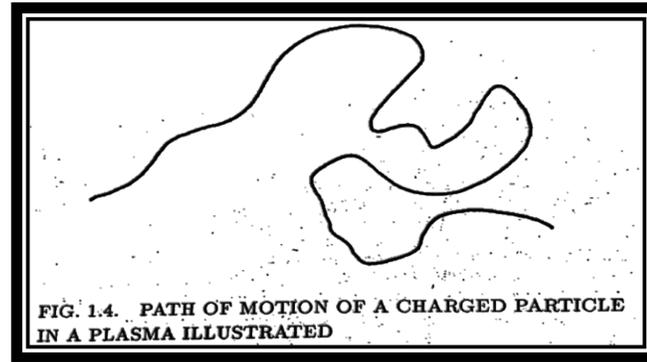


પ્લાઝમામાં ઇલેક્ટ્રોનનો ગતિપથ સામાન્ય વાયુ કરતાં જુદો હોય છે. અહીં ગુરુઅંતરિય બળો બે વિદ્યુતભાર વચ્ચે લાગતા હોય છે. પરિણામે ગતિપથ સીધો હોતો નથી. બે ક્રમિક અથડામણો દરમિયાન ગતિમાર્ગ વક્ર હોય છે. પ્લાઝમામાં વિદ્યુતક્ષેત્ર સતત બદલાતુ રહે છે. દરેક અણુ સ્થિર હોય ત્યારે વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે,

અને તેમાં અણુઓ ગતિ કરે છે. આ ક્ષેત્ર સ્થિતિ વધી તેના મૂલ્યમાં અને દિશામાં સતત ફેરફારો જોવા મળે છે. તે આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.



અહીં વિદ્યુતક્ષેત્ર નો ફેરફાર X - અક્ષની સાપેક્ષે આપેલ છે. અસ્તવ્યસ્ત ફેરફારોથી ઘણા લાંબા સમયે વિદ્યુતક્ષેત્ર નું સરેરાશ મૂલ્ય શૂન્ય મળે છે. તેથી પ્લાઝમામાં આંતરિક સુક્ષ્મ ક્ષેત્ર જે દૂરના અંતર સુધી લાગે છે. તેના કારણે ઇલેક્ટ્રોનના વેગ નું મૂલ્ય અને દિશા સતત બદલાયા કરે છે. જે આકૃતિ માં દર્શાવેલ છે.



અહીં વિદ્યુતભારના ગતિમાર્ગ ની દિશા સતત બદલાયા કરે છે. આવી અથડામણો તીવ્ર કે એકાએક થતી નથી. આવી અથડામણોને **Soft અથડામણો કહે** છે. તેથી અણુની ગતિની દિશા નાના પરાવર્તનોથી સતત અને ધીમેથી બદલાયા કરે છે. કુલંબ પ્રકારના બળોની અસર હેઠળ થતી અથડામણો આ પ્રકારની હોય છે. રૂથરફોર્ડના પ્રચલિત વાદ અનુસાર એક સેકન્ડમાં એકમ ઘનકોણમાં પ્રકીર્ણન પામતાં કણોની સંખ્યા V^4 ના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આથી એક સેકન્ડમાં થતી અથડામણોની સંખ્યા અથવા અથડામણ

આવૃત્તિ V^3 અનુસાર બદલાય છે. આથી એક સેકન્ડમાં થતી અથડામણોની સંખ્યા $T^{3/2}$ અનુસાર તાપમાન પર આધાર રાખે છે.

ઉ.દા. ધારો કે કોઈ સ્થિર ટાર્ગેટ કણ પર સમાંતર કણોના પ્રવાહ આપાત થાય છે. જો આપાત કણોને લંબ એવા એકમ ક્ષેત્રફળમાંથી એક સેકન્ડમાં પસાર થતા કણોની સંખ્યા I હોય અને θ ખૂણે રહેલા એકમ ઘનકોણમાંથી એક સેકન્ડમાં પ્રકીર્ણન પામતા કણોની સંખ્યા n_e હોય તો પ્રકીર્ણન આડછેદ

$$\sigma(\theta) = \frac{n_s}{I}$$

$$n_s = \sigma(\theta)I$$

$$\text{પરંતુ } \sigma(\theta) = V^{-4} \quad \text{અને } I = nV$$

$$n_s = n V V^{-4} = nV^{-3} \quad \diamond \quad n_s \propto V^{-3} \quad \diamond \quad \text{અથડામણની સંખ્યા } n_s \propto V^{-3}$$

તાપમાન વધે છે, તેમ અથડામણ ઘટતી જાય છે. જે તટસ્થ અણુઓ કરતાં વિપરીત પરિસ્થિતિ દર્શાવે છે. ઊંચા તાપમાને અથડામણ વગરની પ્લાઝમાની સ્થિતિ મેળવી શકાય છે.

ઊંચા તાપમાને પ્લાઝમા વાયુ સ્વરૂપમાં હોવાથી અને મુખ્ય કર્તાહર્તા તરીકે કુલંબ બળો હોવાથી પ્લાઝમાને કુલંબ વાયુ પણ કહે છે.

પ્લાઝમામાં કુલંબ બળો પ્રવર્તતા હોય તો પણ શીલ્ડીંગની ઘટનાને લીધે આંતરકણ આંતરક્રિયાઓ અમર્યાદ રીતે લાંબા અંતરો સુધી લાગતા નથી.

ધારો કે પ્રારંભમાં પ્લાઝમામાં કોઈ ધન વિદ્યુતભાર બાકીના બધા વિદ્યુતભારોની અસર હેઠળ છે. આ ધન વિદ્યુતભાર ઋણ વિદ્યુતભારી ઇલેક્ટ્રોનોને પોતાના તરફ આકર્ષે છે. આથી ઋણ વિદ્યુત ભારી ઇલેક્ટ્રોન ધન વિદ્યુતભારની નજીક આવતાં જાય છે. ધન વિદ્યુતભાર બદલાઈ ગયેલ ક્ષેત્ર અનુભવે છે. સાથે સાથે સમગ્ર તંત્રમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર બદલાય છે. આ બદલાતા જતા વિદ્યુતક્ષેત્રમાં ઇલેક્ટ્રોન ની ગોઠવણી સતત બદલાતી જાય છે. જ્યાં સુધી પરિસ્થિતિ સ્વયં સુસંગત બને છે. ત્યારે સમતોલન સ્થપાય છે. આ દરેક ધન વિદ્યુતભાર ફરતે જાણે કે ઇલેક્ટ્રોનનું વાદળ આવી ગયું હોય તેવી સ્થિતિનું નિર્માણ કરે છે. આને કારણે જ ધન વિદ્યુતભાર શિલ્ડ થયો અથવા સ્કીન્ડ થયો છે તેમ કહેવાય. આવી સ્થિતિમાં આ વિદ્યુતભાર અસરકારક રીતે λ_D અંતર સુધી બીજા વિદ્યુતભાર સાથે આંતરક્રિયા કરી શકે છે. λ_D ને સ્કીનીંગ લેન્થ અથવા ડી બાય લંબાઈ કહે છે. λ_D નું મૂલ્ય આંતરકણ અંતર કરતા મોટું પણ પ્લાઝમાના રેખીય પરિમાણ કરતા ઘણું ઓછું હોય છે.

$$\lambda_D \ll L$$

$$\frac{4}{3} \pi n_e \lambda_D^3 \ll L$$

$$L \gg \lambda_D \gg n_e^{-1/3}$$

λ_D નું મૂલ્ય આંતરકણ અંતર કરતાં વધારે હોવાથી λ_D અંતર જેટલી ત્રીજ્યાનો ગોળો કલ્પવામાં આવે તો તે ગોળામાં રહેલા કણોની સંખ્યા સ્પષ્ટ રીતે એક(1) કરતા વધારે હશે.

પ્લાઝમા ની જુદી જુદી વ્યાખ્યાઓ :

- પુરતી સંખ્યામાં મુક્ત વિદ્યુતભારો ધરાવતું તરલ કે જેની ગત્યાત્મક વર્તણુક વિદ્યુત ચુંબકીય બળોથી મહદઅંશે નક્કી કરી શકાય.
- વિદ્યુતભારિત અને તટસ્થ કણોનો અર્ધ-શિથિલ(Quasi Neutral) વાયુ.
- ઓછી ઘનતાવાળો સંપૂર્ણ આયોનીકૃત વાયુ
- કુલંબ વાયુ
- પદાર્થનું ચોથું સ્વરૂપ
- વિદ્યુતભારિત અને તટસ્થ કણોનું એવું તંત્ર કે જ્યાં $L \gg \lambda_D$ તેથી $4/3 \pi n_e \lambda_D \gg 1$

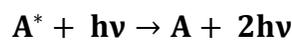
સ્થિતિસ્થાપક અથડામણો : (1.3.1)

અથડામણ દરમિયાન બે અણુઓની કુલ ગતિઊર્જામાં કોઈ જ ફેરફાર ન થાય તો આવી અથડામણોને સ્થિતિસ્થાપક અથડામણો કહે છે. આવી અથડામણો દરમિયાન અણુઓની આંતરિક ઊર્જા સરખી રહે છે. આ અથડામણ બે ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચે , બે આયન વચ્ચે , બે તટસ્થ કણો વચ્ચે , ઇલેક્ટ્રોન –આયન વચ્ચે , ઇલેક્ટ્રોન કે આયનના અણુ વચ્ચે જોવા મળે છે.

અસ્થિતિસ્થાપક અથડામણો: (1.3.2)

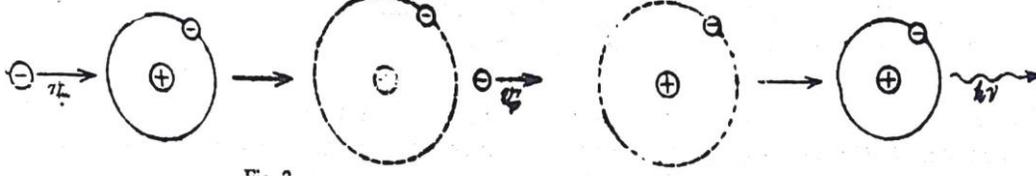
અસ્થિતિસ્થાપક અથડામણોમાં ભાગ લેતા કણોની આંતરિક અને ગતિઊર્જા એમ બંનેમાં ફેરફાર થતો હોય છે. આ અથડામણોમાં સ્પષ્ટ રીતે ગતિઊર્જાનું સંરક્ષણ થતું નથી. આવી અથડામણને કારણે આંતરિક ઊર્જામાં ફેરફાર થાય છે. આવી અથડામણો નીચે મુજબ છે.

(1) અણુ અને પરમાણુઓની ઉત્તેજના:



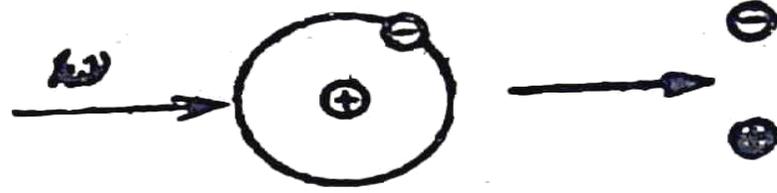
પ્રથમ પ્રક્રિયામાં ધરા સ્થિતિમાં રહેલા અણુ કે પરમાણુ (A) સાથે ફોટોન (hv) ની અથડામણ થતાં ફોટોન શોષાય છે પરિણામે અણુ અને પરમાણુ ઉત્તેજિત A^* અવસ્થામાં આવે છે.

બીજી પ્રક્રિયામાં ઉત્તેજિત અવસ્થામાં રહેલા પરમાણુ કે અણુ પર એક ફોટોનનું ઉત્સર્જન કરી ધરા સ્થિતિમાં આવે છે આ પ્રક્રિયાને **spontaneous emission** કહે છે

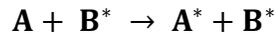


ત્રીજી પ્રક્રિયામાં ઉત્તેજિત અવસ્થામાં રહેલા અણુ કે પરમાણુ પર એક ફોટોન આપાત થતાં અણુ કે પરમાણુ સંક્રાંતિ ઉદભવે છે. પરિણામે એક ફોટોનનું ઉત્સર્જન કરી ધરા સ્થિતિમાં આવે છે. અને એક ફોટોન અથડામણ બાદ મળે છે. આમ બે ફોટોનનું ઉત્સર્જન થાય છે. આ ઉત્સર્જન ને **stimulated emission** કહે છે. જે લેસર ભૌતિકશાસ્ત્રમાં અગત્યનું છે.

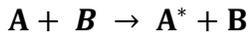
(2) ફોટોન દ્વારા ઉત્તેજિતતા:



આ પ્રક્રિયા દ્વારા અણુ સાથેની અથડામણ થતાં અણુ ઉત્તેજિત અવસ્થામાં આવે છે. અને પોતાની બદલાઈ ગયેલી ગતિ ઊર્જા સાથે પાછો પ્રાપ્ત થાય છે. આયન દ્વારા

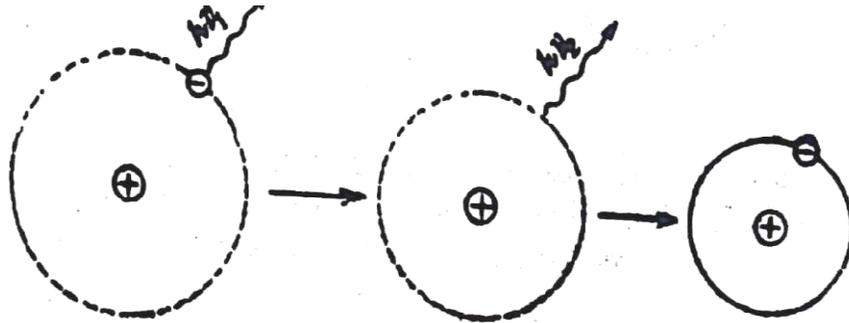


આમાં અણુ આયન દ્વારા અથડામણ કર્યા બાદ બદલાયેલી ઊર્જા સાથે પાછો મળે છે. તે જ રીતે અણુ દ્વારા



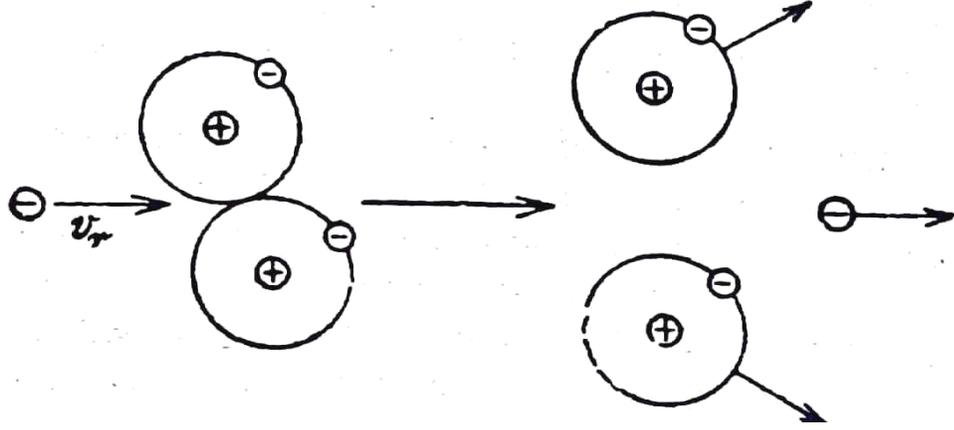
ઉત્તેજિત અણુ દ્વારા $A + B^* \rightarrow A^* + B$

અણુ અથડામણ બાદ ઉત્તેજિત થતા ગુમાવે છે.

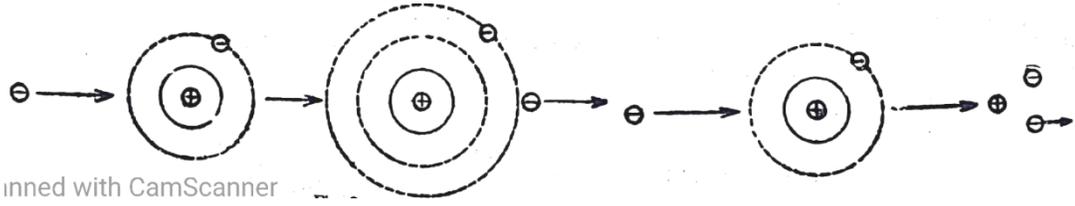
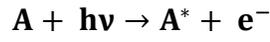


(3) આયોનાઈઝેશન:

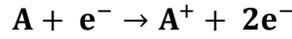
ધરા સ્થિતિમાં અણુ કે પરમાણુ સાથે ફોટોનની અથડામણ થતાં અણુ કે પરમાણુનું આયનીકરણ થાય છે. અને ઇલેક્ટ્રોન પ્રાપ્ત થાય છે આવા આયનીકરણને ફોટો આયોનાઈઝેશન કહે છે.



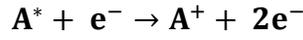
ફોટોન દ્વારા



ઇલેક્ટ્રોન સાથે



ઉત્તેજિત અણુ સાથે



આયન દ્વારા



અણુ દ્વારા



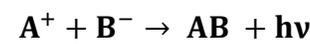
ઉત્તેજિત અણુ દ્વારા પેનિંગ અસર $A + B^* \rightarrow A^+ + B + e^-$

(4) પુનઃસંયોજન :

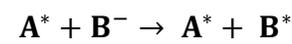
આયન ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા



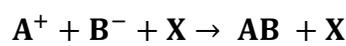
આયન - આયન (વિકિરણ)



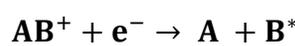
આયન - આયન (તટસ્થતા)



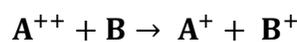
આયન - આયન (વિકિરણ)

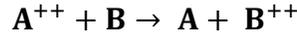


મોલેક્યુલર આયન ઇલેક્ટ્રોન



(5) વિદ્યુતભાર વિનિમય: (charge transfer) :

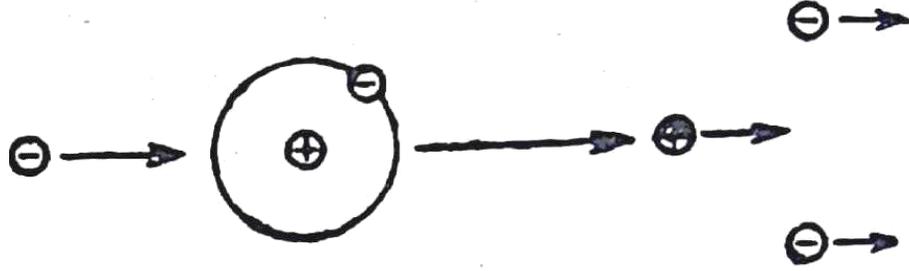




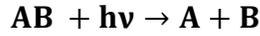
(6) જોડાણ: (attachment):

વિકિરણ	$A + e^{-} \rightarrow A^{-} + hv$
Dissociative	$A_2 + e^{-} \rightarrow A + A^*$
Dissociative	$AB + e^{-} \rightarrow A^{-} + B$
Molecular	$A_2 + e^{-} \rightarrow A_2^{-}$

(7) વિભાજન:(Dissociation):



ફોટો વિભાજન



બીજી પ્રક્રિયાઓ પણ બને છે અથડામણ સંભાવના અથવા પ્રક્રિયા આડછેદ ભાગ લેવા અણુઓની ઊર્જા પર આધાર રાખે છે.

સપાટીની ઘટનાઓ (Surface Phenomena): (1.4)

પ્રયોગશાળામાં પ્લાઝમા કોષપણ પાત્રમાં ઉત્પન્ન કરવામાં આવે છે. આ પાત્રની દિવાલ પર ઉદભવેલી ઘટનાઓ નીચે મુજબ છે.

- (1) ઉત્સર્જન જાનીત ઉત્સર્જન
- (2) ફોટો ઇલેક્ટ્રિક ઉત્સર્જન
- (3) ધરા સ્થિતિમાં રહેલા કે ઉત્તેજિત પરમાણુઓ કે આયોનોને કારણે પાત્રની દિવાલ પર થતું ઇલેક્ટ્રોનનું ઉત્સર્જન
- (4) પાત્રની દિવાલ પરના ઉત્તેજિત અણુઓ સાથે ધરાસ્થિતિમાંના અણુની અથડામણ કે ઉત્તેજિત અણુની પાત્રની દીવાલ પર રહેલા ધરાસ્થિતિના અણુ સાથેની અથડામણ દરમિયાન થતા ઇલેક્ટ્રોનના ઉત્સર્જનને ગોણ ઉત્સર્જન કહે છે. આ ઘટનાને પેનીંગ અસર કહે છે.

પરિવહન ઘટનાઓ: (Transport Phenomena): (1.5)

પ્લાઝમામાં પાસપાસેના વિસ્તારમાં કોઈ ભૌતિક રાશિનું પ્રચલન પ્રવર્તતું હોય છે. ત્યારે તે પ્રચલન પર આધાર રાખીને દ્રવ્યનું, ઉર્જાનું કે વેગમાનનું એક વિસ્તારમાંથી બીજા વિસ્તારમાં પરિવહન થતું હોય છે આવી ઘટનાઓને પરિવહન ઘટનાઓ કહે છે. દા.ત. કોઈ સ્તરમાંથી દ્રવ્ય વધારે ઘનતાવાળા વિસ્તારમાંથી ઓછી ઘનતાવાળા વિસ્તારમાં જાય છે ત્યારે અણુ ઘનતાનું પરિવહન સ્તરના બે વિસ્તાર વચ્ચે થાય છે. તેવી જ રીતે વેગ પ્રચલનના કારણે શ્યાનતા (viscosity) અને તાપમાન પ્રચલનને કારણે ઉષ્મા ઉર્જા નું પરિવહન થાય છે.

બે અણુની અથડામણને કારણે ઉર્જાનું પરિવહન થાય છે જો અણુ ઝડપી અને હલકો હોય તથા બીજો થોડું ભારે અને ધીમો હોય તો ઉર્જાનું વહન અથડામણના કારણે જાણીતું છે. દા.ત

જો $m =$ ઇલેક્ટ્રોન નું દળ છે (વજનમાં હલકો અને ઝડપી)

$M =$ આયનનું દળ (વજનમાં ભારે અને ધીમો)

આ બંને (ઇલેક્ટ્રોન અને આયન) વચ્ચે અથડામણ થાય તો રૂપાંતરિત ઉર્જા અથવા વિનિમય ઉર્જા નીચે મુજબ મળે છે.

$$E = \frac{2Mm}{(M + m)^2}$$

પરંતુ $m < M$

$$E = \frac{2Mm}{M^2 \left(1 + \frac{m}{M}\right)^2}$$

$$E = \frac{2m}{M} \quad (\text{because}) \quad 1 + \frac{m}{M} \approx 1$$

જો $M = m$ હોય તો $E = \frac{1}{2}$ મળે.

તેથી આયન - આયન કે અણુ- અણુ વચ્ચે અથડામણ થાય તો સરેરાશ ગતિ ઉર્જા સરખી રહે છે. (વિનિમય ઉર્જા) અથડામણો દ્વારા ઉર્જાનો વિનિમય થઈને ઉષ્મીય સંતુલન મળે છે. પ્લાઝમામાં જુદા જુદા દળ ધરાવતા (ઈલે. અને તટસ્થ આયન) અણુ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. તેથી વિનિમય ઉર્જામાં મોટો ફેરફાર જોવા (એક સરખા દળ ના ધરાવતા અણુઓની અથડામણ દરમિયાન) જોવા મળે છે. તેથી ઉષ્મીય સંતુલને જુદા જુદા વિભાગોમાં તાપમાન ફેરફાર જોવા મળે છે. ઇલેક્ટ્રોનોનું તાપમાન અને ધન આયન કરતા વધારે હોય છે. તેવી અથડામણોથી ઇલેક્ટ્રોનની ઉર્જામાં સામાન્ય નજીવો જ ફેરફાર થાય છે. આમ હલકા વજન ધરાવતા અણુઓ ભારે વજન ધરાવતા અણુ સાથે અથડામણ કરે છે. ત્યારે ઉર્જામાં અવગણ્ય ફેરફાર થાય છે. આમ ઇલેક્ટ્રોનની સરેરાશ ગતિ ઉર્જા જળવાઈ રહે છે.

પ્લાઝમા ભૌતિકશાસ્ત્રમાં તાપમાન ઉર્જા સ્વરૂપમાં માપવામાં આવે છે

$$KT = 1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{જૂલ}$$

$$T = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23}} = 116000 \text{K} \quad 1eV = 160000 \text{K}$$

વાયુ વિભારણ ટ્યુબમાં આયનો અને અણુનું તાપમાન 500 °K હોય છે જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન નું તાપમાન 10^4 °K કે વધારે હોય છે

આપેલા વિદ્યુત ક્ષેત્રમાં ઇલેક્ટ્રોનને આયનની સરખામણીમાં ઘણો મોટો પ્રવેગ મળે છે. આથી પણ ઇલેક્ટ્રોનનું તાપમાન વધારે હોય છે.

ડીફ્યુઝન અને મોબિલિટી: (1.6)

જો પ્લાઝમા ક્રમિક સ્તરો વચ્ચે કણ ઘનતાનું પ્રચલન હોય તો વધારે ઘનતાવાળા વિસ્તારમાંથી સ્તરને લંબ રૂપ ઓછી ઘનતાવાળા વિભાગમાં પ્રવેશતા કણોની સંખ્યા કે જેને કણ ફ્લક્ષ Γ કહે છે. જે નીચેના સૂત્રથી આપવામાં આવે છે.

$$\Gamma = -D \nabla n \quad (1)$$

જ્યાં D = ડીફ્યુઝન ગુણાંક જેનો એકમ $m^2/\text{સેકંડ}$ છે.

$$D_e \gg D_i$$

D_e = ઇલેક્ટ્રોન માટેનો ડીફ્યુઝન ગુણાંક

D_i = આયન માટેનો ડીફ્યુઝન ગુણાંક

પારાના 1cm દબાણે $D_e/D_i \approx 10^2$

જો પ્લાઝમા પર બાહ્ય વિદ્યુત ક્ષેત્ર લગાડવામાં આવે તો ઘન વિદ્યુતભારો વિ. ક્ષેત્રની દિશામાં અને ઋણ વિદ્યુત ભારો તેની વિરુદ્ધ દિશામાં ગતિ કરે છે. આ અણુઓ ડ્રીફ્ટ વેગ V મેળવે છે. તેથી અણુની (વિદ્યુતભારો) ગતિ ડીફ્યુઝન અને ડ્રીફ્ટ વેગના કારણે મળે છે.

$$\text{ડ્રીફ્ટ વેગ} \quad \vec{V} = \mu \vec{E}$$

જ્યાં μ = ગત્યાત્મક અચળાંક (mobility constant)

$$\vec{E} = \text{વિ. ક્ષેત્રની ઘનતા}$$

μ નો એકમ = $m/\text{સેકંડ} \times m/\text{વોલ્ટ} = m^2/\text{સેકંડ વોલ્ટ}$

$\mu_e \gg \mu_i$ મળે છે. mobility ને ઘણી વખત ડીફ્યુઝન બળ કહે છે.

ડીફ્યુઝન ગુણાંક અને mobility વચ્ચેનો સંબંધ નીચેની રીતે મેળવી શકાશે

વિદ્યુત કણો માટે અથડામણ ગતિનું સમીકરણ નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$\text{બળ} = \text{દળ} \times \text{પ્રવેગ}$$

= વિ. ક્ષેત્રના બળનું pE + દબાણ pE + અથડામણ pE

$$mn \frac{d\vec{v}}{dt} = \pm enE - \vec{v}P - mnv\vec{v}$$

જ્યાં n = અણુ ઘનતા

\vec{v} = વેગ

v = અથડામણ આવૃત્તિ

સંતુલિત સ્થિતિમાં $\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$ હોવાથી

$$\pm enE - \vec{v}P - mnv\vec{v} = 0$$

$P = nKT$ આઈસો થર્મલ પ્લાઝમા છે.

$$\vec{v} = \frac{1}{mnv} [\pm enE - KT\vec{v}n]$$

$$\vec{v} = \frac{\pm eE}{mv} - \frac{KT}{mv} \frac{\vec{v}n}{n}$$

$$\vec{v} = \pm \mu E - D \frac{\vec{v}n}{n}$$

જ્યાં

$$\mu = \frac{e}{mv} \quad \& \quad D = \frac{KT}{mv}$$

$$\frac{D}{\mu} = - \frac{KT}{mv} \times \frac{mv}{eE}$$

$$\frac{D}{\mu} = \frac{KT}{e}$$

ઉપરના સમીકરણને આઈન્સ્ટાઈન સમીકરણ કહે છે જે D અને μ વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે.

એમ્બીપોલર ડીફ્યુઝન:

પ્લાઝમા માં ઈલેક્ટ્રોન અને આયન ભાગ્યેજ સ્વતંત્ર રીતે ડીફ્યુઝ થતા હોય છે. પ્લાઝમા વિદ્યુતકીય રીતે તટસ્થ છે. કોઈ કારણોસર તટસ્થતામાં વિ.ભાર ફેરફાર અનુભવાયતો ઊંચું ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. પરિણામે ઈલેક્ટ્રોન વધારે ગતિથી ગતિ કરી ધીમા ગતિ કરતાં કણોનો પ્રવેગ વધારે છે. પરિણામે ધન અને ઋણ વિ.ભારોનું સંયુક્ત રીતે ડીફ્યુઝન થાય છે. તેથી ધન આયનોનું અને ઈલેક્ટ્રોનોનું ફ્લક્સ સરખું મળે છે. આવા પ્રકારના ડીફ્યુઝનને એમ્બીપોલર ડીફ્યુઝન કહે છે.

$$\Gamma_i = \Gamma_e = \Gamma \quad (1)$$

Γ_i = આયનો માટેનું ફ્લક્સ ,

Γ_e = ઈલેક્ટ્રોન માટેનું ફ્લક્સ

$$\Gamma_i = n_i \vec{v} - D_i \vec{\nabla} n_i$$

$$\Gamma_i = -n_i \mu_i \vec{E} - D_i \vec{\nabla} n_i \quad \text{where } \vec{v} = \mu_i \vec{E} \quad (2)$$

તેજ રીતે

$$\Gamma_e = -n_e \mu_e \vec{E} - D_e \vec{\nabla} n_e \quad (3)$$

સમી.(1) (2) અને (3) પરથી.

$$n_i \mu_i \vec{E} - D_i \vec{\nabla} n_i = -n_e \mu_e \vec{E} - D_e \vec{\nabla} n_e \quad (4)$$

પરંતુ $n_i = n_e = n$

$$\begin{aligned} n \mu_i \vec{E} - D_i \vec{\nabla} n &= -n \mu_e \vec{E} - D_e \vec{\nabla} n \\ n \vec{E} (\mu_i + \mu_e) &= (D_i - D_e) \vec{\nabla} n \\ \vec{E} &= \frac{D_i - D_e}{\mu_i + \mu_e} \frac{\vec{\nabla} n}{n} \end{aligned} \quad (5)$$

સમી. (2) માં $n_i = n_e = n$ અને \vec{E} ની કિંમત મુકતાં

$$\begin{aligned} \Gamma_i &= n \mu_i \left[\frac{D_i - D_e}{\mu_i + \mu_e} \right] \frac{\vec{\nabla} n}{n} - D_i \vec{\nabla} n \\ \Gamma_i &= \left[\frac{\mu_i D_i - \mu_i D_e}{\mu_i + \mu_e} - D_i \right] \vec{\nabla} n \\ \Gamma_i &= \left[\frac{\mu_i D_i - \mu_i D_e - \mu_i D_i - \mu_e D_i}{\mu_i + \mu_e} \right] \vec{\nabla} n \\ \Gamma_i &= \left[\frac{-\mu_i D_e - \mu_e D_i}{\mu_i + \mu_e} \right] \vec{\nabla} n \\ \Gamma_i &= D_a \vec{\nabla} n \end{aligned}$$

જ્યાં $D_a = \frac{-\mu_i D_e - \mu_e D_i}{\mu_i + \mu_e}$ એમ્બીપોલર ડીફ્યુઝન અચળાંક છે. (7)

અહીં $\Gamma_i = \Gamma_e$ છે. તેથી સમાન Γ વડે દર્શાવીએ તો

$$\Gamma = D_a \vec{\nabla} n \quad (8)$$

જો $\mu_e \gg \mu_i$ હોય તો

$$\begin{aligned} D_a &= \frac{-\mu_i D_e - \mu_e D_i}{\mu_i + \mu_e} = \frac{-\mu_i D_e - \mu_e D_i}{\mu_e \left[1 + \frac{\mu_i}{\mu_e} \right]} \\ D_a &= \frac{-\mu_i D_e - \mu_e D_i}{\mu_e} \end{aligned}$$

$$D_a = D_i + \frac{\mu_i}{\mu_e} D_e \quad (9)$$

પરંતુ

$$\frac{D}{\mu} = \frac{KT}{e}$$

તેથી

$$\begin{aligned} \frac{D_i}{\mu_i} &= \frac{KT_i}{e} \quad \& \quad \frac{D_e}{\mu_e} &= \frac{KT_e}{e} \\ \frac{D_i}{\mu_i} &= \frac{KT_i}{e} \quad \& \quad \frac{D_e}{\mu_e} &= \frac{KT_e}{e} \end{aligned}$$

ભાગાકાર કરતાં

$$\frac{\mu_i}{\mu_e} D_e = \frac{T_e}{T_i} D_i$$

સમી.(9) માં કિંમત મુકતાં

$$D_a = D_i + \frac{T_e}{T_i} D_i$$

જો $T_e = T_i$ હોય તો $D_a = 2 D_i$

Recombination: (પુનઃજોડણ): (1.8)

ધન આયન અને ઇલેક્ટ્રોનનું ડીફ્યુઝન થવાથી નવો તટસ્થ અણુ મળે છે. આ ઘટનાને પુનઃસંયોજન કહે છે.

(પ્રશ્ન- પ્લાઝમા ગુમાવવાની પુનઃસંયોજનની પ્રક્રિયા સમજાવી $n = \frac{1}{\alpha t}$ સંબંધ મેળવો.)

જ્યારે ઇલેક્ટ્રોન અને આયન પ્રમાણમાં ઓછા સાપેક્ષ વેગથી એકબીજા સાથે અથડામણ અનુભવે છે. ત્યારે તેમના પુનઃસંયોજનથી પરમાણુ બનવાની સંભાવના વધી જાય છે. જો તટસ્થ પરમાણુ બનવાનો દર $\frac{\partial n}{\partial t}$ હોય તો

$$\frac{\partial n}{\partial t} \propto n_i n_e \text{ but } n_i = n_e = n$$
$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\alpha n^2$$

વિ.ભારોની સંખ્યા ઘટતી હોવાથી ઋણ નિશાની લીધેલ છે α સમપ્રમાણતા અચળાંક છે. જેને પુનઃસંયોજન ગુણાંક કહે છે. તેનો એકમ $m^3/\text{સેકન્ડ}$ છે.

સમી.(1) પરથી

$$\frac{\partial n}{n^2} = -\alpha dt$$

t ની સાપેક્ષે સંકલન કરતાં

$$-\frac{1}{n} = -\alpha t + K \quad (2)$$

t=0 સમયે $n = n_0 =$ પ્રારંભિક ઘનતા

$$K = -\frac{1}{n_0} \quad (3)$$

સમી.(3) ની કિંમત સમી.(2) માં મુકતાં

$$-\frac{1}{n} = -\alpha t - \frac{1}{n_0}$$
$$\frac{1}{n} = \frac{1}{n_0} + \alpha t$$

જો ઘનતા n નું મુલ્ય પ્રારંભિક મુલ્ય n_0 કરતાં ઘણું ઘટી જાય તો $n \ll n_0$

$$\frac{1}{n} \gg \frac{1}{n_0} \text{ તેથી } \frac{1}{n} \propto \frac{1}{\alpha t}$$

શ્યાનતા વાહકતા: (1.7)

આ સમાંગી પ્લાઝમા માટે વેગમાન પરિવર્તન અને ઉષ્મીય ઉર્જાનું સમીકરણ નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$\Gamma = D \vec{\nabla} n$$

આપણને એકમ સમયમાં એકમ ક્ષેત્રફળવાળી સપાટી દ્વારા મળતું વધારાનું ફ્લક્સ \vec{p} હોય તો

$$\vec{p} = -n \vec{\nabla} V$$

જ્યાં $n = 1$ પ્લાઝ્માનો શ્યાનતા અચળાંક છે. એકમ સમયમાં એકમ શેત્રફળ દ્વારા મળતી વધારાની ઊર્જા નીચે મુજબ મળે.

$$\vec{Q} = -K \vec{\nabla} T$$

જ્યાં પ્લાઝ્માની વાહકતા M. K.S. પદ્ધતિમાં $n = \text{Kgm}^{-1} \text{sec}^{-1}$ & $K = \text{watt/m}^{\circ}\text{K}$

અહીં D , n , k , નીચેના સૂત્રથી જોડાયેલ છે.

$$n = \frac{1}{3} \rho \bar{C} \lambda$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{C} \lambda \quad \& \quad K = n C_v \quad \text{તેથી} \quad D = \frac{n}{\rho} = \frac{K}{C_v P}$$

ઉપરનું સૂત્ર વાયુની ઉષ્મીય ગતિવાદથી મેળવેલ છે.

ઓહ્મનો નિયમ: (1.9)

પ્લાઝ્મામાં વીજપ્રવાહ ઘનતા નીચે મુજબ મેળવી શકાય.

$$\vec{J} = n_i e \vec{V}_i - n_e e \vec{V}_e$$

પરંતુ $\vec{V}_i = \mu_i \vec{E}$ and $\vec{V}_e = -\mu_e \vec{E}$

$$\vec{J} = n_i e \mu_i \vec{E} + n_e e \mu_e \vec{E}$$

પરંતુ $n_i \cong n_e \cong n$

$$\vec{J} = n_i e \vec{E} (\mu_i + \mu_e) = n_i e \mu_e \vec{E} \text{ because } \mu_e \gg \mu_i$$

$$\vec{J} = n_i e \mu_e \vec{E} \text{ but } \sigma = n_i e \mu_e$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

વાયુ વિભારણ: (1.10)

સામાન્ય વાયુની લાક્ષણિકતા સંપૂર્ણ અવાહક જેવી હોય છે. તેથી વિદ્યુતવાહકતા ઘણી ઓછી હોય છે. પરંતુ સંપૂર્ણ આયનીકરણ અવસ્થા અથવા પ્લાઝ્મા અવસ્થા ઊંચી વાહકતા ધરાવે છે. કેટલાક પ્લાઝ્મામાં વિદ્યુત લાક્ષણિકતા નવાઈ પમાડે તેવી હોય છે. કેટલાક કિસ્સામાં વાહકતા ઋણ મળે છે.

વાયુમાં વિદ્યુતભાર ઉત્પન્ન કરવા માટે વાયુને વિભારીત કરવાની ઘણી રીતો છે. જેમાં મુક્ત વિદ્યુતભાર અને વિદ્યુતક્ષેત્ર સામાન્ય છે. વિદ્યુત ક્ષેત્ર બહારથી કે આંતરિક ઇલેક્ટ્રોડો દ્વારા નીચી આવૃત્તિએ આપી શકાય છે. વિદ્યુતભાર વાયુમાં ઉત્પન્ન થાય છે. જે પાત્રની દીવાલોની અંદર છે.

જો વિદ્યુતવિભારણ ટ્યુબમાં વાયુનું દબાણ 10^{-4} થી 10^{-2} m મર્ક્યુરીના કમનું હોય અને બે ઇલેક્ટ્રોડ વચ્ચે વોલ્ટેજ V વધારતાં વિદ્યુતવિભારણ થાય છે. જેથી વિદ્યુત પ્રવાહ I વધે છે. વિ.વિભારણ માટે V વિરુદ્ધ I નો ગ્રાફ ઉપરની આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.

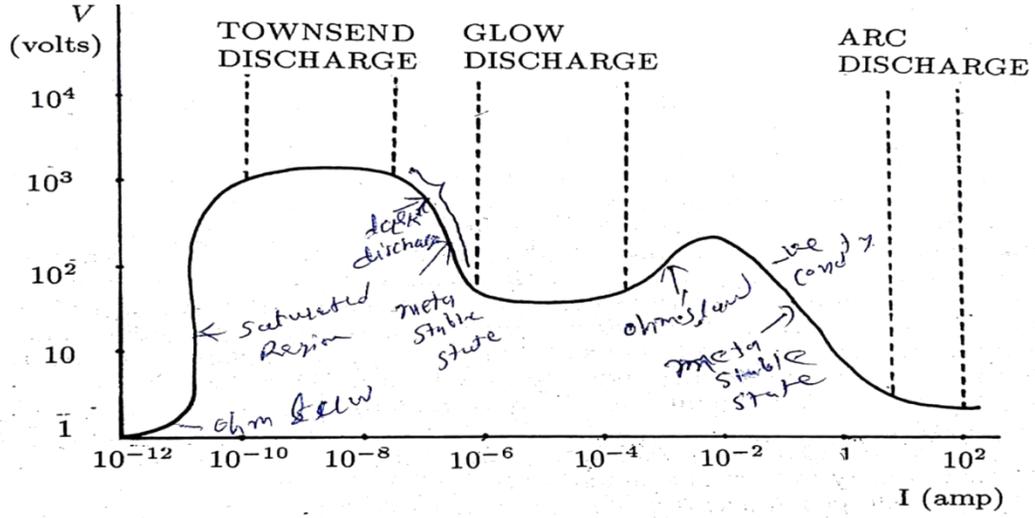


FIG. 1.5. DIAGRAM OF $V - I$ CHARACTERISTICS IN A GAS DISCHARGE

(1) Townsend Discharge (ટાઉનસેન્ડ ડીસ્ચાર્જ)

પ્રારંભમાં વિદ્યુત પ્રવાહ વોલ્ટેજને સમપ્રમાણમાં છે એટલે કે ઓહમનો નિયમ પળાય છે. પછી વોલ્ટેજ વધારતા વિદ્યુત પ્રવાહ અચળ રહે છે. a થી c સુધીના વિભાગમાં વોલ્ટેજ વધતા વિદ્યુત પ્રવાહ પણ વધે છે. આ વિભાગને સંતૃપ્ત પ્રવાહ પણ કહે છે. c થી d વિભાગમાં લગભગ વોલ્ટેજ અચળ રહે છે તો પણ વિદ્યુત પ્રવાહ ઝડપથી વધતો જાય છે. આ વિભાગને Townsend ડીસ્ચાર્જ છે. c બિંદુ સુધી વિદ્યુત પ્રવાહ કે તેનાથી ઓછો હોય છે. આ વિભાગમાં વિદ્યુત પ્રવાહ અત્યંત ઓછો હોવાથી કોઈ મળતો નથી.

આથી આ વિસ્તારને ડાર્ક ડીસ્ચાર્જ પણ કહે છે. cd વિભાગમાં (townsand) વિ.ભાર સ્વયં જળવાઈ રહે છે જ્યાં વોલ્ટેજ $V \approx 10^3 V$ અને પ્રવાહ $I = 10^{-10}$ થી 10^{-6} કમનો જોવા મળે છે.

(2) Glow Discharge

d બિંદુથી આગળ વધતા વોલ્ટેજ ઘટે છે તો પણ વિદ્યુત પ્રવાહ વધતો જાય છે. આ સ્થિતિ d થી e સુધી જળવાઈ રહે છે. d થી e સુધી dV/dI નું મૂલ્ય ઋણ (કે જેને ગત્યાત્મક વાહકતા) હોય છે. de વિભાગ બાદ ef વિભાગમાં વોલ્ટેજ અચળ રહે છે. તો પણ વિદ્યુત પ્રવાહ વધતો જાય છે. આ વિભાગને Glow Discharge કહે છે. આ વિભાગમાં વોલ્ટેજ આશરે $10^2 V$ અને વિદ્યુત પ્રવાહ 10^{-4} થી 10^{-2} જેટલો હોય છે.

(3) Arc Discharge

f થી g સુધીના વિસ્તારમાં વોલ્ટેજ અને વિદ્યુત પ્રવાહ વચ્ચે રેખીય સંબંધ જળવાય છે.

એટલે કે વોલ્ટેજ વધે તો વિદ્યુત પ્રવાહ વધે છે, અને ઓહમ ના નિયમનું પાલન થાય છે. થોડા સમય માટેજ વોલ્ટેજ વધતા વિ.પ્રવાહ વધે છે. મહત્તમ મુલ્ય g બિંદુ આગળ મળે છે. ત્યાર બાદ વોલ્ટેજ ઘટે છે, અને વિ.પ્રવાહ વધે છે. તે સમયે dV/dI નું મુલ્ય ઋણ મળે છે. જે બીજી મેટાસ્ટેબલ અવસ્થા છે. આ બિંદુ પાસેથી ફરીવાર વોલ્ટેજ અચળ રહે છે, અને વિ.પ્રવાહ વધતો જાય છે. આ વિભાગમાં વિદ્યુત પ્રવાહ $10A$ થી 10^3A જેટલો વધે છે અને વોલ્ટેજ આશરે અચળ રહે છે. આ વિભાગને Arc ડીસ્ચાર્જ કહે છે.

Townsend Discharge , Glow & Arc Discharge વિસ્તારોમાં dV/dI શૂન્ય છે. વિદ્યુત પ્રવાહ વોલ્ટેજ થી સ્વતંત્ર છે. આ ત્રણે વિસ્તારોમાં V/I ના મૂલ્યો (જેને DC અવરોધ કહે છે) અને પ્રવાહ ઘનતાના મૂલ્યો નીચે દર્શાવ્યા છે.

	DC Resi.(ઓહમ)	પ્રવાહ ઘનતા A/m^2
Townsend discharge	$\approx 10^{12}$	$\approx 10^{-5}$
Glow discharge	$\approx 10^5$	$\approx 10^{-2}$
Arc discharge	$\approx 10^{-4}$	$\approx 10^8$

Townsend Discharge , Glow & Arc Discharge માં થતા ટ્રાન્ઝીસન અને ભૌતિક ઘટના સમજવા માટે નીચેની વિગતો જાણવી જરૂરી છે.

- (1) વાયુ દબાણ (2) E/P (3) કદ (4) આકાર (5) ઇલેક્ટ્રોડ પ્રકાર (6) બે ઇલેક્ટ્રોડ વચ્ચેનું અંતર (7) વાયુમાં અશુદ્ધિ (8) આપેલ ઇલે.ફિલ્ડ આવૃત્તિ વગેરે.

Townsend Criterion (ટાઉનસેન્ડ રાશિ સમજાવો)

વિદ્યુત વિભારણ વાયુના બ્રેક ડાઉનની શરતોનો અભ્યાસ સૌ પ્રથમ Townsend એ કર્યો. વાયુમાં વિદ્યુત વિભારણ શરૂ થાય ત્યારે બ્રેક ડાઉન થયું કહેવાય. જે E/P ના મૂલ્ય પર આધાર રાખે છે. બ્રેકડાઉન માટેની શરત નીચે મુજબ છે.

$$\gamma (e^{\alpha d} - 1) = 1$$

α = Townsend નો પ્રથમ સહગુણક

γ = Townsend નો દ્વિતીય સહગુણક

$\alpha = 0.01 \text{ m}$ અંતરમાં ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા થયેલ આયન જોડકાની સંખ્યા

γ = એક આયનને કેથોડ પર પહોંચવાથી કેથોડ માંથી ઉત્સર્જતા ગૌણ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા છે.

d = બે ઇલેક્ટ્રોડ વચ્ચેનું અંતર

બીજી અસરો : બ્રેકડાઉન થીયરીમાં બીજી ઘટનાઓ ભાગ ભજવે છે, જે નીચે મુજબ છે.

β - effect: પ્રારંભિક ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા વાયુમાં આયનીકરણ થાય છે જેને β -બીટા અસર કહે છે.

δ - effect: - નળીમાં આયન અને ઇલેક્ટ્રોન નું પુનઃ સંયોજન થતાં ફોટો ઉત્પન્ન થાય છે આ ફોટોન દ્વારા સપાટી પરથી ગૌણ ઇલેક્ટ્રોન નું ઉત્સર્જન થાય છે જેને δ અસર કહે છે.

η - effect = ફોટો આયનીકરણ

ε - effect = મેટાસ્ટેબલ અવસ્થામાં ઉત્તેજિત અણુ કેથોડ પર આપાત થતાં ગૌણ ઇલેક્ટ્રોન નું ઉત્સર્જન થાય છે જેને ε અસર કહે છે.

σ - effect સ્પેસ ચાર્જ અને તેના પરિણામ સ્વરૂપે સ્પાર્ક ઉત્પન્ન થાય છે. આ સ્પાર્કથી બે ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેના વિદ્યુત ક્ષેત્ર માં દાખલ થવાની ઘટનાને σ અસર કહે છે.

Paschen's Law પાશ્ચનનો નિયમ સમજાવો:

Townsend વિભારણની થિયરીનો મહત્વનો નિયમ પાશ્ચન નો નિયમ છે જે નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$V_b = f(p, d)$$

જ્યાં V_b = breakdown voltage

P = વાયુ દબાણ

d = બે ઇલેક્ટ્રોડ વચ્ચેનું અંતર

જો $V_b \rightarrow Pd$ નો આલેખ દોરવામાં આવે તો Pd ના કોઈ ચોક્કસ મૂલ્ય માટે V_b ન્યુનત્તમ બને છે.

જો d અચળ રાખીને વાયુ દબાણ P માં ઘટાડો કરવામાં આવે તો સરેરાશ મુક્ત પથના મૂલ્યમાં વધારો થાય છે. તેથી અથડામણની સંભાવના ઘટે છે આથી આયનીકરણની પણ સંભાવના ઘટે છે. બીજી તરફ જો P માં વધારો કરવામાં આવે તો સરેરાશ મુક્ત પથના મૂલ્યમાં ઘટાડો થાય છે. પરિણામે બે ક્રમિક અથડામણ વચ્ચે કાપવો પડતો વાળ ટૂંકો થઈ જાય છે. તેથી આટલા ટૂંકા માર્ગ પર ઇલેક્ટ્રોનનું આયનીકરણ કરી શકે તેવી ઊર્જા મેળવી શકતો નથી. આમ આયનીકરણની સંભાવના ઘટે છે. આમ P ના મોટા મૂલ્ય કે નાના મૂલ્ય માટે આયનીકરણ સંભાવના ઘટે છે. આમ બે અવધિઓના વચ્ચેના P ના મૂલ્ય માટે આયનીકરણની સંભાવના વધારે હોય છે. આવા P ના મૂલ્ય માટે આયનીકરણ વધારે પ્રમાણમાં થતાં બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ V_b ઘટે છે. આ ઉપરાંત નાના અને મોટા મૂલ્યો માટે બ્રેકડાઉન જોઈતું હોય તો વધારે વોલ્ટેજનું દબાણ લગાડવું પડે છે.

High Frequency Ele. Field (ઉંચી આવૃત્તિ વાળું વિદ્યુત ક્ષેત્ર):

પ્ર. ઉંચી આવૃત્તિ વાળા વિ.ક્ષેત્રમાં થતી ઘટનાઓ સમજાવો.

જો બે ઇલેક્ટ્રોડ વચ્ચે ડીસી વોલ્ટેજ કે ઓછી આવૃત્તિ વાળા વોલ્ટેજ આપવામાં આવે તો ડિસ્ચાર્જ ઘટના લગભગ એક સરખા પ્રકારની હોય છે. પરંતુ આ બંને વચ્ચે એક તફાવત છે. ઓછા આવૃત્તિ વાળા

વોલ્ટેજના કિસ્સામાં ડીસચાર્જ બંધ કરવા માટેના વોલ્ટેજ ચાલુ ડીસચાર્જ કરવા માટેના વોલ્ટેજ કરતા સહેજ ઓછા હોય છે.

ઉચ્ચ આવૃત્તીવાળા કિસ્સામાં ડીસચાર્જની ઘટના મૂળભૂત રીતે જુદા જુદા પ્રકારની છે. આ કિસ્સામાં નળીમાંના ઇલેક્ટ્રોડ ઉપરાંત બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોડનો પણ ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ પ્રકારના ડીસચાર્જ ને ઇલેક્ટ્રોડ લેસ ડીસચાર્જ કહે છે. ઉચ્ચ આવૃત્તીવાળા ડીસચાર્જના કિસ્સામાં વોલ્ટેજની આવૃત્તિ, વિદ્યુત ક્ષેત્ર નું વિતરણ, વાયુનું દબાણ, વાયુના પ્રકાર, નળીમાં પરિમાણ, નળીની દીવાલનો પ્રકાર વગેરે પર આધાર રાખે છે. વિ.ક્ષેત્ર કે ચુંબક ક્ષેત્ર બહારથી લાગુ પાડ્યા હોય તો તે પણ અગત્યના છે.

જ્યારે વાયુનું દબાણ 10-2 mm (Hg) પારા કરતાં ઓછું હોય ત્યારે વાયુના પરમાણુઓ સાથે અથડામણ થવાની સંભાવના ઓછી હોય છે. આ સંજોગોમાં ઇલેક્ટ્રોન પાત્રની દીવાલ અથવા ઇલેક્ટ્રોડ સાથે અથડામણ અનુભવે છે. પરિણામે ગૌણ ઇલેક્ટ્રોનનું સર્જન થાય છે. આ ગૌણ ઇલેક્ટ્રોન મળવાની ઘટનાને મલ્ટી ફેક્ટર અસર અથવા ગૌણ અનુનાદ કહે છે. આની યાંત્રિક રચનાના પાયાના અનુમાન નીચે મુજબ છે.

(1) ઇલેક્ટ્રોનનો સમય (બે ઈલે. વચ્ચે) સરખો અથવા આપેલ વિ.ક્ષેત્રના અર્ધ આવર્તનના બેકી ગુણાંકમાં હોય છે. જેથી ઇલેક્ટ્રોનમાંથી ઉત્સર્જન પામતા ઇલેક્ટ્રોન યોગ્ય કક્ષામાં હોય જેથી તે ફરીથી પ્રવેગી થઈ શકે છે.

(2) ગૌણ ઇલેક્ટ્રોન ક્ષેત્રમાંથી પૂરતી ઉર્જા લે છે કે જેથી તે દિવાલ કે ઇલેક્ટ્રોડ પર આપાત થઈ ઓછામાં ઓછા એક ઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જન કરે.

ઇલેક્ટ્રોન ના Avalanche breakdown માટે ઉપરની બે શરત ફરજિયાત પાળવી પડે છે.

Comparision of Various natural and man made plasma

કુદરતી અને કૃત્રિમ પ્લાઝમાની સરખામણી (1.11)

કુદરતી અને કૃત્રિમ પ્લાઝમા માટેના ત્રણ પરિબલો છે.

(1) ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા(ne) (2) ઇલેક્ટ્રોન તાપમાન(Te) (3) Debye લંબાઈ λ_D જે નીચેના કોઠામાં દર્શાવેલ છે.

	ne(m-3)	Te(OK)	λ_D (m)
Interstellar Gas	10^{-3}	10^2	10
Sunspot	10^{17}	4×10^3	10^{-5}
Corona	10^{14}	10^6	0.5×10^{-2}
Inter Planetary Plasma	10^8	10^5	1

Ionosphere	10^{12}	10^3	10^{-3}
Light of Plasma	10^{18}	10^6	5×10^{-5}
Dense of plasma	10^{22}	10^6	5×10^{-7}
Themonuclear Plasma	10^{22}	10^8	5×10^{-6}
Gas Discharge	10^{20}	10^4	5×10^{-7}

ઉપરના દરેક પ્લાઝમા માટે $4/3 \pi n_p^3 \lambda_D^3 \gg 1$ જે ડી બાય સ્ફીયરમાં છે. જે પ્લાઝમા માટેની શરત છે.

પ્લાઝમા નિદાન (Plasma Diagnostics) (1.12)

જુદા જુદા ઉપકરણો અને જુદી જુદી પદ્ધતિઓ વડે પ્લાઝમાના વિવિધ પ્રકારના પ્રાયલો માપવાના શાસ્ત્રને પ્લાઝમા નિદાન કહે છે. પ્લાઝમામાં રહેલા કણોના પ્રકાર માટે પ્રકાશીય સ્પેક્ટ્રોસ્કોપ , માસ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપ , Scintillator, Semiconductors, Photo plates જેવા ઉપકરણોનો ઉપયોગ થાય છે.

અણુઓની ઘનતા માપવા માટે ઘનતા માપવા માટે દબાણનું માપ પૂરતું છે. ($P=nKT$) આ માટે મોનો મીટર ગેજ, Ionization gauge, and thermal conductivity gauge વપરાય છે. ઊંચા દબાણના માટે Piezo-electric gauge વપરાય છે.

વિદ્યુત ભારિત અણું ઘનતા માપવા માટે Langmuir probe, Electrostatic probe, Microwave Interferometer, Microwave Cavity, Stark effect વગેરેનો ઉપયોગ થાય છે.

અણુઓની ગતિ ચોક્કસ દિશામાં થતી હોય તો તેનો વેગ માપવા માટે Doppler effect, Mass Spectroscopy, Calorimetry, Scintillators, Photo Plates, and X-radiation ઘટનાઓનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે અણુઓની અસ્તવ્યસ્ત ધરતીના અભ્યાસ માટે લાંબો ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક રેડિએશન નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

અણુઓની અસ્તવ્યસ્ત ગતિના અભ્યાસ માટે Langmuir probe, Electromagnetic radiation નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

વિદ્યુત ક્ષેત્ર માપવા માટે Langmuir probe અને Electron probe ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

પ્લાઝમાની ઘટનાઓ સમજવા કોમ્પ્યુટરનો ઉપયોગ વધતો જાય છે. Stimulate પ્લાઝમાના પ્રયોગમાં કોમ્પ્યુટરનો ઉપયોગ વધુ સફળ છે. વધારે સંખ્યામાં આયનો અને ઇલેક્ટ્રોનોની ગતિનો અભ્યાસ કરવા ન્યુટનના નિયમો અને મેક્સવેલ સમીકરણો નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. જે પરથી વિ.ભાર વિતરણ, વિજસ્થિતિમાંન અને ક્ષેત્ર જાણી શકાય છે.

Plasma Waves and Instability (Confinement of plasma) (1.13)

પ્લાઝમામાં જુદા જુદા પ્રકારના તરંગો જોવા મળે છે. સૌ પ્રથમ Penning (1926) માં પ્લાઝમા માં સંગત તરંગો મેળવ્યા. જેની સૈદ્ધાંતિક સમજૂતી 1929 માં Langmuir અને Tonks આપી. આ તરંગો સામાન્ય વાયુના ધ્વનિ તરંગો જેવા છે. આ તરંગોનું જરૂરી Restarting state આપવું અને ઇલેક્ટ્રોનો વચ્ચે લાગતા કુલંબ બળના કારણે છે. તે વાયુના દબાણ પર આધારિત નથી.

પ્લાઝમા સારું વાહક છે. જેમાં તીવ્ર પ્રવાહ છે. જે યુ.ક્ષેત્ર દ્વારા વધારી શકાય છે. જો યુ.ક્ષેત્ર સમય સાથે બદલાય તો ફેરેડેના નિયમ અનુસાર વિ.ક્ષેત્રનું નિર્માણ કરે છે. અણુની ઊંચી ગતિને કારણે વિદ્યુત ક્ષેત્ર બદલાય છે. પરિણામે વધારાનું યુ.ક્ષેત્ર ઉમેરાય છે. આ બન્ને ક્ષેત્રો વચ્ચેની આંતરક્રિયા ને કારણે લંબગત વિદ્યુતચુંબકિય તરંગો મળે છે.

સંગત, લંબગત અને બીજા ઘણા પ્રકારના મિશ્રિત તરંગો પ્લાઝમામાં ઉત્સર્જિત થાય છે. જો બહારથી ચુંબકીય ક્ષેત્ર આપવામાં આવે તો આ તરંગો Anisotropic બને છે.

સરેરાશ મુક્ત પથના ક્રમના નાના અંતરો માટે દબાણ, ઘનતા અને સ્ટ્રીમ વેગમાં અચાનક ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્લાઝમામાં મેગ્નેટો hydrodynamics શોક તરંગો જોવા મળે છે. અહીં ધ્વનિ વેગ અને સરેરાશ મુક્ત પથને takeover અનુક્રમે aalfven વેગ અને ડીબાય લંબાઈ અથવા સાઈકલોટ્રોન દ્વારા કરવામાં આવે છે. પ્લાઝમામાં શોક તરંગનું બંધારણ ગુંચવણભર્યું તથા અરેખીય દોલિત છે.

સૂર્યજ્વાલાથી Inter planetary plasma માં શોક તરંગ ઉત્પન્ન થવાથી પૃથ્વી પર ચુંબકીય સ્ટ્રોમ આવે છે.

જો પ્લાઝમામાં સમતલ તરંગ કે બીજા કોઈ તરંગની આવૃત્તિ સંકીર્ણ બને તો પ્લાઝમા અસ્થિર કહેવાય. 60 કરતાં વધારે પ્રકારની ઇનસ્ટેબિલિટી પ્લાઝમામાં જાણી શકાય છે. આ ઇનસ્ટેબિલિટીના કારણે પ્રયોગશાળામાં હોટ પ્લાઝમા થોડી મિલિ સેકન્ડો માટે જ મેળવી શકાય છે. વધારે સમય માટે મેળવવાના પ્રયોગો ચાલુ છે. જેમાં ઇનસ્ટેબિલિટી વિશેનું સંશોધન અને તેના નિવારણના ઉપયોગો વિષે અભ્યાસ થઈ રહ્યો છે.

તીવ્ર યુ.ક્ષેત્રમાં વિદ્યુતભારીત કણોની ગતિ ચુંબકીય બળ રેખાઓની આસપાસ હેલીકલ પ્રકારની છે. તેથી ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ ડીફ્યુઝન થતું નથી. તેથી પ્લાઝમાને પાત્રની દિવાલથી અલગ પાડવાનું શક્ય બન્યું છે. તેથી પ્લાઝમા કન્ફાઈનમેન્ટ મેળવેલ છે. તેથી થર્મોન્યુક્લીયર ફ્યુઝનમાં વિ.ક્ષેત્ર અને ચુંબકીય ક્ષેત્રના જુદા જુદા જોડાણોનો ઉપયોગ કરીને ઊંચા તાપમાને પ્લાઝમા કન્ફાઈન થયા છે.

અવકાશી પ્લાઝમા (Space Plasma): (1.14)

બ્રહ્માંડમાં મોટાભાગના દ્રવ્ય પ્લાઝમા અવસ્થામાં છે. આનો ટૂંકમાં અભ્યાસ ઘણો જ મુશ્કેલ છે, જેને ચાર ભાગમાં વિભાજીત કરેલ છે.

(1) Interstellar space (આંતરતારા અવકાશ)

આંતર તારા અવકાશમાં ઉદ્ભવતા પ્લાઝમામાં ચાર કે પાંચ પ્રકારના અણુઓ ભાગ લે છે. અહીં CH, CH⁺, CN, NaOH, and OH પ્રથમ ચાર અણુઓની ભાળ પ્રકાશીય વર્ણપટ પરથી અને OH ની ભાળ રેડિયો તરંગો થી મળી છે. કેટલાક વૈજ્ઞાનિકોની એવી પણ માન્યતા છે કે ગરમ તારાઓની પડોશમાં બાષ્પીભવનને કારણે CH₄, NH₃, H₂O વગેરે જેવા બહુ પરમાણુ દુર થતા જાય છે. જ્યારે દ્વિપરમાણુક અણુઓની હાજરી જાણી શકાય છે.

(2) બીજા ગ્રહોના વાતાવરણમાં પ્લાઝમા

શુક્ર અને મંગળના વાતાવરણમાં CO₂⁺ હોવાનું જાણવા મળેલ છે. શુક્રના વાતાવરણમાં HCO₂⁺ ઘણાં મોટા દરથી ઉત્પન્ન થાય છે. તેવું અનુમાન કરવામાં આવ્યું છે. બીજા દૂરના ગ્રહોમાં ઘણા પ્રમાણમાં H₂ અને તેમના આયનોસ્ફિયરમાં H₃⁺ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. પૃથ્વીના વાતાવરણની સરખામણીમાં Mars ઉપર નીચી ઘનતા છે. તેથી બાયનરી અથડામણ અને વિકિરણ સંયોગથી પૂનઃ સંયોજન ઘટના બને છે. ગુરૂના વાતાવરણમાં નીચેની પ્રક્રિયાઓના અનુમાન થયેલ છે.

અત્યારે space probe સૂર્યમંડળના બીજા ગ્રહો ના ઉપરના વાતાવરણની ઘણી માહિતી આપે છે.

પૃથ્વીનું વાતાવરણ (Earth atmosphere):

(પ્રશ્ન-પૃથ્વીના વાતાવરણમાં van allen radiation belt, magnetosphere pulsar પ્લાઝમા વગેરે અંગે ટૂંકમાં માહિતી આપો.)

સૌર વિકિરણને કારણે પૃથ્વીના વાતાવરણમાં રહેલા N₂, O₂, CO₂, અને H₂O નું યોગ્ય આવૃત્તિવાળા વિકિરણના શોષાવાના કારણે ફોટો આયોનાઈજેશન થાય છે. પરિણામે વાતાવરણમાં આયનોસ્ફિયર વિસ્તાર મળે છે. આ વિસ્તારમાંના વાયુ મંદ પ્લાઝમા કે જે ઇલેક્ટ્રોન અને આયનો ધરાવે છે. સૌર વિકિરણને કારણે પૃથ્વીના આયનોસ્ફિયર વિસ્તારમાં વિવિધ સ્તરો જેવા કે D, E₁, E₂, F₁, F₂ અસ્તિત્વમાં આવે છે. આ સ્તરો તેમની ઊંચાઈઓ, ઇલેક્ટ્રોન સંખ્યા, ઘનતા, તાપમાન વડે મેળવી શકાય છે. દા. ત. D સ્તરની સરેરાશ ઊંચાઈ 70 કિલોમીટર અને ઇલેક્ટ્રોન ઘનતા 10¹⁰ m⁻³ છે. જ્યારે F₂ સ્તરની ઊંચાઈ 300 km અને 10¹² m⁻³ છે. અમુક સ્તરમાં પરમાણુક આયનો અને અમુક સ્તરમાં આણ્વીક આયનો છે. D સ્તરમાં તટસ્થ કણોનું પ્રમાણ વધારે છે. મોટાભાગના વિસ્તારમાં ઇલેક્ટ્રોનનું તાપમાન આયનોના તાપમાન કરતા વધારે હોય છે.

100 km થી ઉપરના ભાગમાં N_2^+ ના આયનો અને O_2 વચ્ચે ઝડપી પ્રક્રિયા થવાથી NO^+ આયનો ઉત્પન્ન થતા હોવાનું જણાયુ છે.

E સ્તરમાં N_2^+ , Na^+ , Ni^+ , Al_2^+ વગેરે જોવા મળ્યા છે. ધાત્વિક આયનો ઉલ્કાઓ બળવાને કારણે ઉત્પન્ન થયા હોવાનું મનાય છે.

રાત્રે સૂર્ય પ્રકાશની ગેરહાજરીમાં આયનો અને ઇલેક્ટ્રોનની ઘનતા દિવસ ની સરખામણીમાં ઘટી જાય છે. આમ છતાં N_2^+ અને O_2^+ ની સંખ્યા સારા પ્રમાણમાં જળવાઈ રહે છે.

D સ્તરમાં NO_3^- , NO_2^- , CO_3^- અને શક્ય નીચી ઘનતામાં O^- , O_2^- , O_3^- આયનો રહેલા છે. આ ઋણ આયનો કે જે ઇલેક્ટ્રોન અણુઓ સાથે ચોંટી જતા સર્જાય છે. પૃથ્વીના વાતાવરણના ઉપરના વિસ્તારના અભ્યાસોમાં ઇલેક્ટ્રોન, પરમાણુ, ઉત્તેજિત પરમાણુઓ, અણુઓ, આયનો અને વિદ્યુતચુંબકિય તરંગો વચ્ચેની આંતર ક્રિયાઓ અગત્યનો ભાગ ભજવે છે.

પૃથ્વીના આયનોસ્ફીયરના ઉપરના ભાગમાં ખાસ પ્રકારના પ્લાઝમા અસ્તિત્વ ધરાવે છે. જે Air Glow છે. રાત્રી દરમિયાન Night Glow અને Day Glow દિવસ દરમિયાન પૃથ્વીની સપાટીથી અને રોકેટ દ્વારા અવલોકન કરેલ છે. Air Glow એ ફોટો ઉત્સર્જનના કારણે મળે છે. બીજા પ્લાઝમા Twilight Glow કે જે સંધ્યા સમયે જોઈ શકાય છે. જો કે તેને જોવા માટે 50 km થી 150 km જેટલી ઉંચાઈએ જવું પડે છે.

પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં અવકાશમાંથી પ્રવેશતા ઇલેક્ટ્રોન અને આયનો ઝડપાઈ જાય છે. તેઓ ઉત્તર ધ્રુવ અને દક્ષિણ ધ્રુવ વચ્ચે એક પટ્ટો રચે છે આ પટ્ટાને વાન એલેન રેડિશન બેલ્ટ કહે છે.

પૃથ્વીના ઉત્તરધ્રુવ અને દક્ષિણધ્રુવ પ્રદેશો પરના ઉચ્ચ વાતાવરણમાં ચુંબકીય તોફાનો વખતે Aurora Borealis અને Aurora Australis તરીકે ઓળખાતા સુંદર દ્રશ્યો ખડા થાય છે. સૂર્યમાંથી આવતા વિ.ભરી કણો પૃથ્વીના ચુ.ક્ષેત્રમાં વિષુવવૃતથી ધ્રુવ પ્રદેશ તરફ આવર્તન પામે છે. તેથી ઉત્તેજના અને ફોટોઆયનીકરણને કારણે આ દ્રશ્યો સર્જાય છે.

પૃથ્વીના વાતાવરણમાં થતી વીજળીની ઘટનામાં પણ પ્લાઝમા ઉત્પન્ન થાય છે. સોલાર પવનમાં (Solar wind) પણ ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોનનો પ્રવાહ હોય છે. તે પ્લાઝમા રચે છે. સોલાર પવનને કારણે પૃથ્વીનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર સંકોચાય છે. સોલાર પવનને કારણે પૃથ્વીના ચુ.ક્ષેત્ર અને વાન એલેન રેડિએશન બેલ્ટ વચ્ચેની પ્રતિક્રિયાઓને લીધે Magnetosphere રચાય છે.

સૌર જ્વાળાએ એક જટિલ ઘટના છે. આ ઘટનામાં ઘટના દીઠ આશરે 10^{25} જૂલ જેટલી ઊર્જા છૂટી પડે છે આ ઘટનામાં ક્ષ-કિરણો, દ્રશ્ય કીરણો, પારજાંબલી કિરણો અને રેડિયો વિકિરણો ઉત્સર્જાય છે. વિ.ભારી કણો લગભગ પ્રકાશના વેગ જેટલા સુધી પ્રવેગીત થાય છે.

સૂર્યમાંથી પ્લાઝમાના સ્વરૂપમાં છૂટી પડેલી જ્વાળા અવકાશમાં એક ચુ.ક્ષેત્રમાં ઝડપાઈ જાય છે. સૌર જ્વાળાને કારણે પૃથ્વીના વાતાવરણમાં Auroras અને મેગ્નેટિક સ્ટ્રોમ (ચુંબકીય તોફાનો) સર્જાય છે.

રેડીઓ સંદેશા વ્યવહારમાં દખલ ઉત્પન્ન થાય છે. સ્પેસ રોકેટ અને કુત્રિમ ઉપગ્રહના અભ્યાસ પરથી સાબિત થયું છે કે પ્લાઝમા વહન અને સોક વેવના પ્રસરણ દ્વારા પૃથ્વીના વાતાવરણમાં દખલ (disturbance) થાય છે. આ ઘટના માટે સૌર જ્વાળા જવાબદાર છે.

ન્યુટ્રોન તારાઓ Pulsar ના રૂપમાં વિકિરણ નું ઉત્સર્જન કરે છે. અને તેઓ પલ્સર કહેવાય છે. Pulsar ના અભ્યાસક્રમમાં પણ પ્લાઝમા અભ્યાસ અગત્યનો છે.

Nuclear reaction in stellar Plasma:

Bathe & Weizbaker, 1938 માં જાણીતા કાર્બન-નાઇટ્રોજન Cycle ની શોધ કરી. કુદરતી કે કુત્રિમ પ્લાઝમા ના મૂળભૂત રિએક્શન સરખા છે. પરંતુ કેટલાક તફાવત તેની ઘનતા અને તાપમાનને કારણે છે. જે નીચે મુજબ છે.

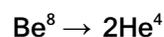
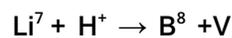
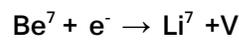
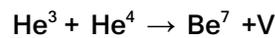
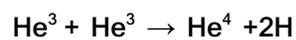
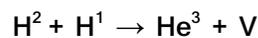
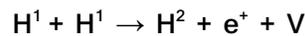
- તારાકીય પ્લાઝમામાં આયનોનું વેગ વિતરણ મેક્સવેલીયન પ્રકારનું ધારી શકાય છે. પ્રયોગશાળાના પ્લાઝમામાં આ શક્ય નથી.
- પ્રયોગશાળામાં પ્લાઝમા કરતા તારાકીય પ્લાઝમા વધારે ઘટ્ટ હોય છે.
- તારાકીય પ્લાઝમાના અમુક અભ્યાસો પ્રયોગશાળામાં પ્લાઝમાના જેવા જ સરખા છે. દા. ત. વેગ વિતરણ, જ્યારે ઘણા અભ્યાસ જટિલ છે. દા.ત. વિવિધ પ્રક્રિયાઓ, અથડામણની સંભાવના વગેરે.

ન્યુક્લિયર રીએક્શન ઉંચા તાપમાને અથવા ઊંચી ઘનતાએ થાય છે. ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓને કારણે ગેમા (γ) કિરણો અને ન્યુટ્રીનોનું ઉત્સર્જન થાય છે.

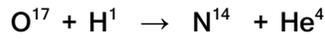
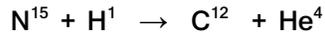
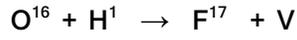
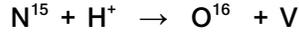
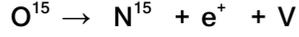
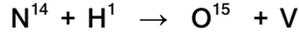
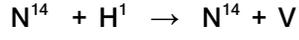
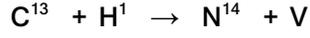
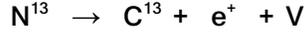
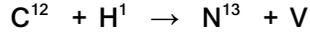
તારાઓની શોધ (evolution) ની શરૂઆતની અવસ્થા હાઇડ્રોજન બોન્ડીંગ છે જેમાં હાઇડ્રોજન બે જુદી રીતે હિલીયમ સાથે બળે છે. જે પ્રક્રિયા નીચે મુજબ છે.

આ બંને પ્રક્રિયામાં He^4 મળે છે. જે નીચે મુજબ છે.

(1) પ્રોટોન-પ્રોટોન ચક્રિય પ્રક્રિયા

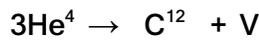


(2) કાર્બન- નાઇટ્રોજન ચક્રીય પ્રક્રિયા

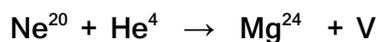
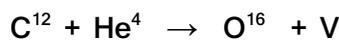


20×10^6 °K તાપમાન કરતાં ઓછા તાપમાને પ્રોટોન-પ્રોટોન ચક્રીય પ્રક્રિયા અને તેના કરતા ઊંચા તાપમાને કાર્બન- નાઇટ્રોજન ચક્રીય પ્રક્રિયા થાય છે.

તારાના ઉત્ક્રાંતિના બીજા તબક્કામાં હિલીયમનું દહન થાય છે. જ્યારે તારામાંથી હાઇડ્રોજનનું દહન થાય છે. જેથી તારાનું સંકોચન થાય છે અને પોતાના ગુરુત્વાકર્ષણમાંથી ઊર્જા મેળવે છે. આ વખતે તારાના મધ્ય ભાગમાંથી હાઇડ્રોજન વપરાઈ ગયો હોય છે. પરંતુ બહારના ભાગમાં તેની હાજરી હોય છે. તેથી ત્રિજ્યા વર્તી દિશામાં તાપમાન પ્રચલન ના કારણે હજુ બળવાનું ચાલુ રાખે છે. આ દરમિયાન મધ્ય ભાગમાં સંકોચને કારણે તાપમાન વધે છે, અને He^4 બળવા લાગે છે આ પ્રક્રિયાને ૩-આલ્ફા પ્રક્રિયા કહે છે જે નીચે મુજબ છે.



નીચેની પ્રક્રિયાઓ આગળ વધે છે.



આ પ્રક્રિયાઓથી તારાનું તાપમાન 10^8 થી 3×10^8 °K જેટલું ઊંચું જાય છે He ખલાસ થઈ જાય પછી કાર્બનનું દહન શરૂ થાય છે. આ પ્રક્રિયાઓમાં Mg^{24} , V , Na^{23} , H^1 , Ne^{20} , He^4 ઉત્પન્ન થાય છે. આ પ્રક્રિયાઓ ઉષ્માક્ષેપક છે. બીજી ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયાઓમાં Mg^{23} , V , O^{16} , He^4 , Be^8 ઉત્પન્ન થાય છે. તારાકીય પ્લાઝમામાં 10^7 અને 10^9 °K તાપમાન વચ્ચે ઘણી ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓ થાય છે.