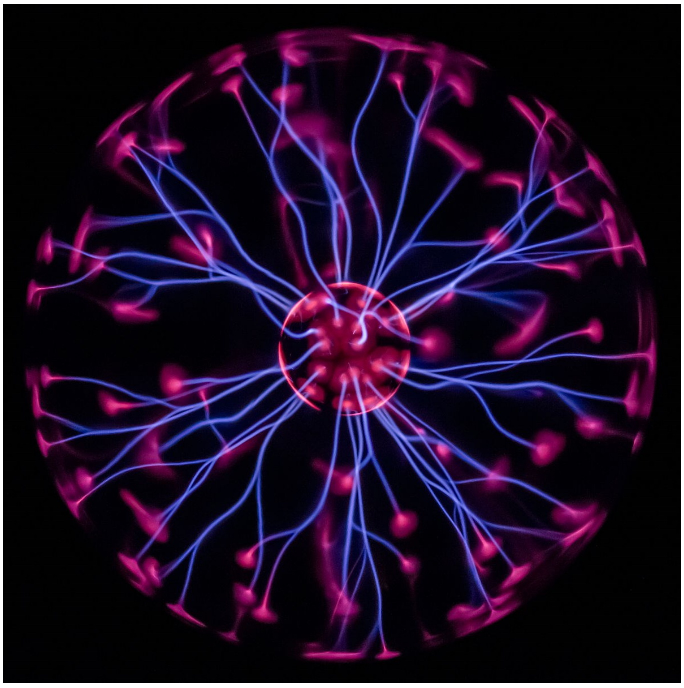
પ્લાઝમા આપણા જીવનમાં



એક સંયુક્ત કાર્યક્રમ

પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થા, ગાંધીનગર

અને

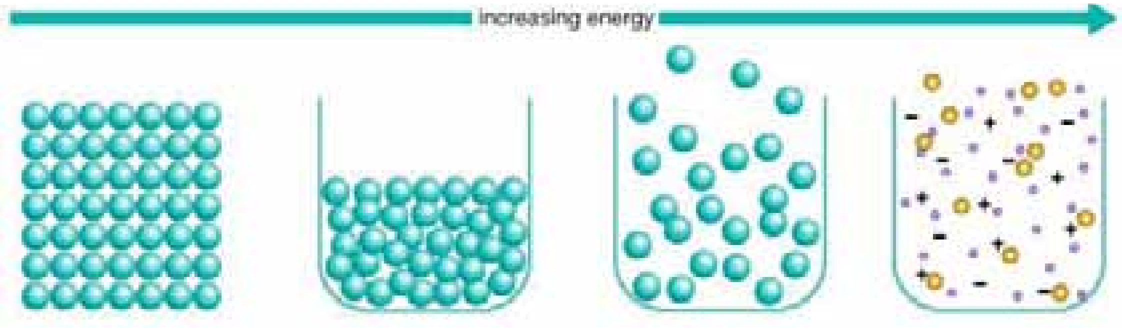
નેશનલ કાઉન્સિલ ફોર સાયન્સ એન્ડ ટેક્નોલોજી કોમ્યુનિકેશન, નવી દિલ્હી

અનુક્રમણિકા

૧	પ્લાઝમા : પદાર્થનું ચોથું સ્વરૂપ, કે પહેલું સ્વરૂપ?	૦૯
૨	ચિપ અને પ્લાઝમા	૧૭
૩	પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલ	૨૦
૪	પ્લાઝમા વડે ધાતુને સાંધવી કે કાપવી	૨૪
૫	ચિકિત્સા વિજ્ઞાનમાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ	૨૮
૬	પ્લાઝમા વડે રોકેટ પ્રક્ષેપણ	૩૨
૭	પ્લાઝમાથી પર્યાવરણની સ્વચ્છતા	૩૬
૮	નાભિકીય સંલયનમાંથી ઊર્જા	૪૦
૯	વાર્તા ITERની	૪૫
૧૦	પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન : એક પરિચય	૫૪
૧૧	પ્લાઝમાના સમાજલક્ષી ઉપયોગો : IPRનું યોગદાન	૫૯
૧૨	પરમાણુ વિખંડન વડે ઊર્જા	૬૪

પ્લાઝમાઃ પદાર્થનું ચોથું સ્વરૂપ, કે પહેલું સ્વરૂપ?

પદાર્થની વિવિધ અવસ્થાઓ



આકૃતિ-૧ : પદાર્થની અવસ્થાઓ (ચિત્રનો સ્રોતઃ Encyclopaedia Britannica)

નિશાળમાં આપણને પદાર્થના મુખ્ય ત્રણ સ્વરૂપ ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ સ્વરૂપ હોય એમ શીખવવામાં આવે છે. આપણે એ પણ શીખીએ છીએ કે ઉષ્ણતા આપવાથી અણુ વચ્ચેના બંધ તૂટે છે અને પદાર્થનું એક અવસ્થામાંથી બીજી અવસ્થામાં રૂપાંતર થાય છે. ઘન પદાર્થનું પ્રવાહીમાં અને પ્રવાહી પદાર્થનું વાયુ સ્વરૂપમાં રૂપાંતર થાય છે. જેમ કે, બરફને ગરમી આપવાથી પાણી બને, અને પાણીને ગરમી આપવાથી વરાળ બને, એટલે કે વાયુ સ્વરૂપ મળે.

હવે જો આ વાયુ સ્વરૂપને ગરમી આપીએ તો શું થાય? વાયુ ને વધારે ગરમી આપવાથી તેના પરમાણુ વચ્ચેના બંધ તૂટે છે. આમ થવાથી પરમાણુ કેટલાક ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે અને આયનીકૃત થાય છે. કેટલાક ઈલેક્ટ્રોન મુક્ત થાય છે. ઘણાં પરમાણુઓમાં આમ બને છે ત્યારે વીજભારવાળા કણોનો જથ્થો એકઠો થઈને આયનીકૃત વાયુ બનાવે છે જેને પ્લાઝમા કહે છે **(આકૃતિ ૧)**.માં પદાર્થના જુદા જુદા સ્વરૂપો દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

ઘન : ઘન સ્વરૂપના અણુઓ એકબીજાની સાથે નજદીક જોડાયેલા હોઇ નિયમિત રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે જે પોતાની સરેરાશ જગ્યાએથી મર્યાદિત વિસ્તારમાં આંદોલિત થઇ શકે છે.

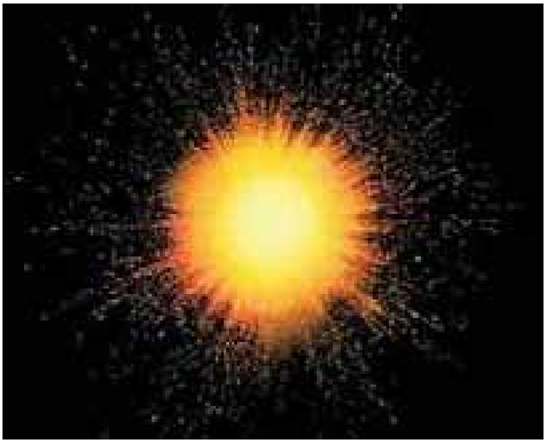
પ્રવાહી : પ્રવાહીના અણુઓ એકબીજાની આસપાસ સરળતાથી સરકી શકે છે. તેમની વચ્ચે આકર્ષણ બળ હોવાને લીધે તે અલગ થતા નથી. જે પ્રકારના પાત્રમાં રાખવામાં આવે તેવો આકાર પ્રવાહી ધારણ કરે છે.

વાયુ : વાયુ સ્વરૂપમાં અણુઓ અતિ ઝડપ થી દરેક દિશામાં ઊડતા હોય છે. અણુઓ એકબીજાથી દૂર હોવાને લીધે તેમની વચ્ચે આકર્ષણબળ નહિવત હોય છે.

પ્લાઝમા : ખૂબ ઊંચા તાપમાને(જેમ કે તારાઓમાં) પરમાણુ ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે, ઈલેક્ટ્રોન અને ઘન આયનીકૃત પરમાણુનું મિશ્રણ પદાર્થ ની પ્લાઝમા સ્થિતિનું નિર્માણ કરે છે.

જ્યારે વિશ્વનું નિર્માણ થયું

આપણે જાણીએ છીએ કે વિશ્વનું નિર્માણ મહાવિસ્ફોટ (Big bang) ના ફળસ્વરૂપ થયું છે (આકૃતિ ૨). ત્યારે ઉચ્ચ તાપમાન વાળા પ્લાઝમા નું વર્ચસ્વ હતું. વિશેષ રસપ્રદ બાબત તો એ છે કે દ્રશ્યમાન વિશ્વમાં આજે પણ નવ્વાણું ટકા કરતાં વધારે હિસ્સો પ્લાઝમાનો છે. એટલે વિશ્વની શરૂઆત થઈ ત્યારે પ્લાઝમાનું અસ્તિત્વ હતું અને આપણે સહુ અસ્તિત્વમાં પણ ત્યાંથી જ આવ્યા. આજે આપણને ખાસ અનુભવ ન થતો હોવા છતાં પણ પ્લાઝમા બ્રહ્માંડમાં મહત્વનો ભાગ ભજવી રહ્યો છે.



આકૃતિ ૨ : મહાવિસ્ફોટ : કલાકારની કલ્પના (સ્રોત : (Source: one-mind-one-energy.com/images/big-bang.

જો વિશ્વની શરૂઆતમાં ઉષ્ણ પ્લાઝમાનું વર્ચસ્વ રહ્યું હોય તો પદાર્થની જુદી જુદી સ્થિતિ કેવી રીતે ઉદ્‌ભવી હશે? અતિ ગરમ એવી અવસ્થામાંથી ગરમી ઘટવાની સાથે પ્લાઝમાના કણોના નબળા બંધનમાંથી ક્રમશઃ આપણા વિશ્વનું નિર્માણ થયું. પ્લાઝમા ઠંડો પડતા તેનું રૂપાંતર વાયુમાં થયું. તાપમાન વધુ ઘટતાં વાયુનું પ્રવાહીમાં રૂપાંતર થયું અને પછી ઘન પદાર્થોનું નિર્માણ થયું. પદાર્થની ઠંડા પડવાની પ્રક્રિયામાં પરમાણુ અને અણુઓ નજીક આવતાં એકબીજા સાથે બંધનમાં જોડાય છે અને એક સ્વરૂપમાંથી બીજા સ્વરૂપમાં ફેરવાય છે. વિશ્વની શરૂઆતમાં પ્લાઝમાનું જે વર્ચસ્વ હતું તે આજે પણ છે. આપણી આજુબાજુ જે કોઇ વસ્તુઓ જોવા મળે છે એ શરૂઆતના પ્લાઝમા કરતા ઘણા ઠંડા સ્વરૂપમાં છે, અને તેમ છતાં વિશ્વમાં આજે પણ પ્લાઝમા પદાર્થનું સૌથી વધુ પ્રવર્તમાન સ્વરૂપ છે!

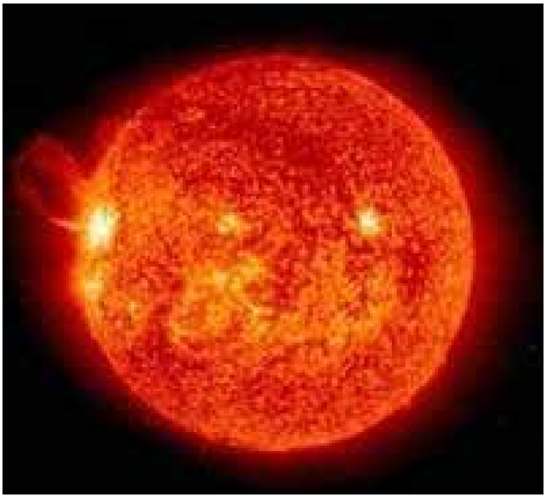
શરૂઆતમાં જણાવ્યું તે પ્રમાણે મહદ્‌ અંશે બ્રહ્માંડમાં દૃશ્ય સ્વરૂપે દેખાતા પદાર્થ પ્લાઝમા સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. સૂર્ય અને તારાઓમાં અને ગ્રહોની વચ્ચેના અવકાશમાં તથા તારાઓ વચ્ચેના અવકાશમાં પણ પ્લાઝમા અસ્તિત્વમાં હોય છે. હવે સવાલ એ થાય કે તો શું પૃથ્વી ઉપર પ્લાઝમા જોવા મળે?

વીજળીના ચમકારા **(આકૃતિ 3A)**, ધ્રુવ પ્રદેશમાં જોવા મળતા જ્યોતિપુંજ અર્થાત Aurora **(આકૃતિ 3B)** તથા વેલ્ડીંગ કરતી વખતે ઉડતા તણખાઓમાં પ્લાઝમા હોય છે. આ ઉપરાંત જાહેરાતોમાં વપરાતી નિયૉનનલિકા તથા ટ્યૂબ લાઇટ, તેમજ ધાતુઓના ઘન સ્ફટિક માળખામાં અને બીજી અનેક દૃશ્યમાન વસ્તુઓમાં તથા ઘટનાઓમાં પ્લાઝમા જોવા મળે છે. આમ જોવા જઇએ તો આપણી પૃથ્વી પણ તરલ પ્લાઝમામાં જ ડૂબેલી છે, જેને સૌર પવન કહેવામાં આવે છે, વધુમાં પૃથ્વી પ્લાઝમાના એક આવરણ દ્વારા આચ્છાદિત છે જેને અયનમંડળ (ionosphere) કહેવામાં આવે છે.

અંતરિક્ષમાં પ્લાઝમાનું નિર્માણ ફોટોઆયનીકરણ પ્રક્રિયાને લીધે થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં સૂર્ય અથવા તો તારામાંથી પ્રક્ષેપિત થતાં ફોટોનને આજુબાજુના વાયુ શોષી લે છે. પરિણામે ઇલેક્ટ્રોન મુક્ત થાય છે. સૂર્ય અને તારાઓ, સતત પ્રકાશતાં રહેતા હોવાથી પ્લાઝમાનું સંપૂર્ણ આયનીકરણ થાય છે **(આકૃતિ ૪)**. જો કે એવું પણ બને કે પ્લાઝમા અમુક પ્રમાણમાં જ આયનીકૃત થાય. સંપૂર્ણ આયનીકૃત હાઇડ્રોજન પ્લાઝમામાં ફક્ત

આકૃતિ 3A(Source: wikigag.com)

આકૃતિ 3B(Source: images.nationalgeographic.com)



આકૃતિ ૪ : સૂર્ય (અને સાતત્યથી ચમકતા તારાઓ)માં પદાર્થ મુખ્યત્વે પ્લાઝ્મા સ્વરૂપમાં હોય છે. ((Source: www.universesimplified.com)

ઈલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોન હોવાથી પ્રાથમિક પ્લાઝ્મા ગણાય છે.

પ્લાઝ્મા અતિ પ્રાચીન પદાર્થ હોવાની સાથે આજની દુનિયામાં અત્યંત ઉપયોગી પુરવાર થઇ રહ્યો હોવાથી આગવું મહત્વ ધરાવે છે. સ્પષ્ટ છે કે પદાર્થના સ્વરૂપનો ક્રમ આપણે ઊલટો કરવો જોઇએ, જેમાં પ્લાઝ્માનું સ્થાન પ્રથમ હોય અને ત્યારબાદ વાયુ, પ્રવાહી અને ઘન પદાર્થ આવે!

પ્લાઝ્મા અવસ્થા વિશે

ભૌતિકશાસ્ત્રમાં પ્લાઝ્મા એટલે શું? વાયુના અણુઓ આયનીકૃત થાય ત્યારે લગભગ સરખી સંખ્યામાં ધન અને ઋણ વીજભાર ધરાવતા કણો, કે જે વિદ્યુતના વાહક માધ્યમ તરીકે કામ કરે છે, તેને પ્લાઝ્મા કહેવામાં આવે છે. ઈલેક્ટ્રોન પર ઋણ વીજભાર હોય છે. દરેક ઈલેક્ટ્રોન એક એકમ ઋણ વીજભાર ધરાવે છે. ધન વીજભાર જે પરમાણુ કે અણુમાંથી ઈલેક્ટ્રોન દૂર થયા હોય તેના પર હોય છે, અને તે ધન આયન બનાવે છે. જો ઈલેક્ટ્રોન તટસ્થ પરમાણુ કે અણુ પર ગોઠવાઈ જાય તો ઋણ આયન બને છે. પ્લાઝ્મામાં આ રીતે ધન અને ઋણ એમ બન્ને પ્રકારના આયનો હોય છે. ગુરૂત્વાકર્ષણ બળના પ્રભાવ ઉપરાંત વિદ્યુતબળ અને ચુંબકીય બળ પણ પ્લાઝ્મા પર લાગુ પડે છે. અને તેથી જ પ્લાઝ્મા સ્વરૂપ એક અદ્વિતીય સ્વરૂપ બની રહે છે. વિદ્યુતચુંબકીયબળનો પ્રભાવ દૂર સુધી અનુભવી શકાતો હોવાને લીધે કણો એકબીજા સાથે ટકરાતા હોવા છતાં સામૂહિક રીતે પ્લાઝ્મા પ્રવાહ આગળ વધી શકે છે.

પ્લાઝ્મા વિજ્ઞાનનો વિકાસ

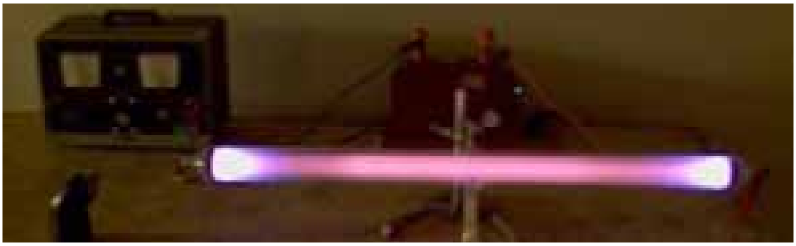
પ્રયોગશાળામાં પ્લાઝ્મા ઉત્પન્ન કરી શકાય? પ્લાઝ્મા અંગેની આપણી જે સંકલ્પનાઓ છે તે તો થોડા વર્ષો પહેલાની જ છે. પ્લાઝ્માના ઈતિહાસની શરૂઆત વીસમી સદીના છઠ્ઠા દશકથી થઇ એમ કહી શકાય. એનું ઐતિહાસિક મહત્વ એટલા માટે છે કે પ્લાઝ્મા, વિજ્ઞાનની બીજી અનેક શાખાઓ સાથે પણ સંકળાયેલ છે.

ભૌતિકશાસ્ત્રની જે ત્રણ મહત્વની શાખાઓએ પ્લાઝ્મા વિજ્ઞાનના વિકાસ માટે શરૂઆતમાં યોગદાન આપ્યું તેમાં ૧) વીજ વિભારનો અભ્યાસ (Study of electric discharges), ૨) ચુંબકીયદ્રવગતિશાસ્ત્ર (Magnetohydrodynamics અથવા MHD) કે જેમાં તરલ પ્રવાહી જેવાં કે પ્રવાહી ધાતુ, ઈલેક્ટ્રોલાઇટ, અને પ્લાઝ્માનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે; અને ૩) વાયુગતિવાદ (Kinetic theory) મુખ્ય છે. પ્લાઝ્મા ભૌતિકશાસ્ત્રનો વિકાસ કેવી રીતે થયો એ પણ ટૂંકમાં જોઇ લઇએ.

૧૯ મી સદીમાં વીજવિભાર ઘટનાના અભ્યાસથી પ્લાઝ્મા વિજ્ઞાનની શરૂઆત થઇ. ૧૮૩૦માં માઇકલ ફેરાડે (૧૭૯૧-૧૮૬૭) અને પછી ૧૮૯૦માં જે. જે. થોમસન (૧૮૫૬-૧૯૪૦), અને જોહન સિલિ ટાઉનસેન્ડની (૧૮૬૮-૧૯૫૭) આ ત્રિપુટીએ આજે જે કાંઇ સંશોધનો આ ક્ષેત્રમાં થઇ રહ્યાં છે, એનો પાયો નાખ્યો એમ કહી શકાય. એ આકસ્મિક હતું કે આ ત્રણેય વૈજ્ઞાનિકો અંગ્રેજ હતાં. **(આકૃતિ ૫)**. અમેરીકામાં ઈરવિંગ લેંગમુઇર (૧૮૮૧-૧૯૫૭) અને લેવી ટોંક્સ (૧૮૯૭-૧૯૭૧) દ્વારા સૌ પ્રથમ ૧૯૨૩ની સાલમાં 'પ્લાઝ્મા' શબ્દની વ્યાખ્યા કરવામાં આવી.

વીજવિભારના સંશોધન દરમિયાન ચોક્કસ જગ્યામાં ઈલેક્ટ્રોનના થતાં ચોક્કસ આવૃત્તિવાળા ફેરફારને તેમણે પ્લાઝમા દોલન એવું નામ આપ્યું. લેંગમુઈરે વીજ પ્રવાહનું વહન કરતાં આ માધ્યમને પ્લાઝમા એવું નામકરણ કર્યું. આ નામ પ્રાણીઓના લોહીમાં જોવા મળતાં ગુણધર્મો સાથેની આંશિક સમાનતાને કારણે કદાચ આપવામાં આવ્યું હોય! પરંતુ ત્યારબાદ પ્લાઝમા નામ જ કાયમી થઇ ગયું!

ચુંબકીયદ્રવગતિશાસ્ત્રના અભ્યાસમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં વીજભારિત કણોની વર્તણૂક અને વાહક પ્રવાહીની સંકલ્પના અભિભૂત છે. ટૂંકમાં ચુંબકીયક્ષેત્રમાં



આકૃતિ ૫ : વાયુઓમાંથી પસાર થતો વીજ વિભાર (Source: web.physics.ucsb.edu)

વાહક પ્રવાહી પર થતી અસરનો અભ્યાસ એટલે MHD. આયનીકૃત વાયુ અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર વચ્ચેના સંબંધ અંગેનો અભ્યાસ ૧૯૩૦ની સાલમાં સૂર્યના અને ભૂભૌતિકીના નવા સિદ્ધાંતો સાથે શરૂ થયો. સ્વીડનના ભૌતિકશાસ્ત્રી હાન્સ આલ્ફવેન (૧૯૦૮-૧૯૯૫) દ્વારા ચુંબકીયદ્રવગતિશાસ્ત્ર (MHD) ની સાથોસાથ અંતરિક્ષ પ્લાઝમા પર કરવામાં આવેલા અભ્યાસ માટે એમને ૧૯૭૦ ની સાલમાં ભૌતિકશાસ્ત્રનો નોબેલ પુરસ્કાર પણ એનાયત થયો. તેમણે ચુંબકીયદ્રવગતિશાસ્ત્રમાં મળતા તરંગોમાં એક પ્રકારના તરંગોનો અભ્યાસ કર્યો, જે આજે 'આલ્ફવેન તરંગ' તરીકે ઓળખાય છે.

વીજવિભારનો અભ્યાસ અને ચુંબકીયદ્રવગતિશાસ્ત્રમાં વાહક દ્રવની વર્તણૂકની સાથે વાયુગતિકીના સિદ્ધાંતનો સમન્વય કરીને પ્લાઝમાનો અભ્યાસ થાય છે. વાયુની જેમ પ્લાઝમા કણો પણ અનિયમિત ગતિ ધરાવે છે. તેમની ગતિનો આધાર કણોની અથડામણ અને તેની ઉપર દૂર સુધી લાગતા વીજચુંબકીય બળને આભારી હોય છે.

ધાતુમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોનની વર્તણૂકના અભ્યાસ માટે પરમાણુગતિકીના સમીકરણનો ઉપયોગ ૧૯૦૫ની સાલમાં ડચ ભૌતિકશાસ્ત્રી હેંડ્રિક અંતૂન લોરેન્ટ્ઝે (૧૮૫૩-૧૯૨૮) કર્યો. લૂડવિગ બોલ્ટ્ઝમાન નામના ઓસ્ટ્રિયાના વિજ્ઞાનીએ આ સમીકરણો થોડા વર્ષો પહેલાં તારવ્યા હતાં. પછી તો ઘણા ભૌતિક વિજ્ઞાનીઓ અને ગણિતશાસ્ત્રીઓએ ૧૯૩૦ અને ૧૯૪૦ દરમિયાન પ્લાઝમા ગતિકીસિદ્ધાંતનો વિકાસ કર્યો. જો કે ત્યારથી જ પ્લાઝમા વૈજ્ઞાનિકો માટે રુચિકર સ્વરૂપ રહ્યું છે. અંતરિક્ષ ક્ષેત્રના સાહસો, ઈલેક્ટ્રોનિક સાધનોનો વિકાસ, તારાભૌતિકીમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રનું મહત્વ, અને નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયન સંયંત્રોના વિકાસના પ્રયત્નો થકી આ વિષયને ઘણી ચાલના મળી.

પ્લાઝમા સાથે સંકળાયેલી અનેક ઘટનાઓની જટિલતાને લીધે ઘણાબધા કોયડાઓના ઉકેલ શોધવાના હજુ બાકી છે. દાખલા તરીકે સૌર પવનની જ વાત કરીએ તો સૂર્યમાંથી વીજભારિત કણોનો પ્રવાહ ચારે તરફ નીકળતો જ રહે છે. આની ગણતરી કરવા માટે ગુરુત્વાકર્ષણ, તાપમાન, દબાણ, અને વીજચુંબકીય ક્ષેત્ર વિશેના જ્ઞાનનો સમન્વય આવશ્યક છે, પરંતુ આટલી બધી ચલ સંખ્યાઓનો એકી સાથે સમન્વય કરી અભ્યાસ કરવો ખૂબ જ જટિલ કામ છે.

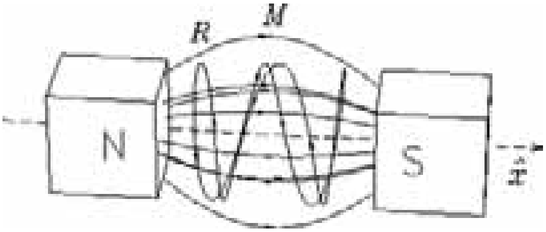
પ્લાઝમાનું નિર્માણ અને તેને બંધિત બનાવવો

ધાત્વિય સ્ફટિકનાં ઘનસ્થિતિ પ્લાઝમા સિવાય, પૃથ્વી ઉપર સામાન્ય રીતે પ્લાઝમા ઉદ્ભવતા નથી. એટલે પ્રયોગશાળામાં યોગ્ય સાધનોની મદદથી કૃત્રિમ રીતે પ્રયોગ દ્વારા ઉત્પન્ન કરવામાં આવે છે. ટેકનોલોજીમાં ઉપયોગ માટે આલ્કલી ધાતુઓ જેવી કે પોટેશિયમ, સોડિયમ અને સિઝિયમની આયનીકરણ ઊર્જા ઓછી હોવાથી તેને સીધી જ ગરમી આપી

૩૦૦૦ K જેટલા તાપમાને પ્લાઝમા મેળવી શકાય છે. વાયુની વાત અલગ છે! ઘણા ખરા વાયુમાં મોટા ભાગે આયનીકરણ થાય એ પહેલા ૧૦,૦૦૦ K જેટલા તાપમાનની જરૂર પડે છે. પ્લાઝમા નો અભ્યાસ કરતી વખતે તાપમાનનાં એકમ માટે ઈલેક્ટ્રોનવોલ્ટ (eV) ની વ્યાખ્યા કરવામાં આવે છે. શૂન્યાવકાશમાં એક ઈલેક્ટ્રોન દ્વારા એક (૧) વોલ્ટ જેટલા વિદ્યુત સ્થિતિમાનમાં પ્રવેગી ગતિ કરતા મેળવાયેલી ઊર્જા ૧ ઇલેકટ્રોનવોલ્ટ (1 eV) ઊર્જા કહેવાય છે. આપણે અહી નોંધીએ કે ૧૨,૦૦૦ K = ૧ eV થાય. સ્વઆયનીકરણ માટે ૨.૫ થી ૮ eV જેટલા તાપમાનની જરૂર પડે છે. કોઈ પણ અણુ કે પરમાણુમાંથી એક ઈલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટે મોટે ભાગે આટલી જ ઊર્જાની જરૂર પડે છે.

આ તાપમાને પહોંચતા પહેલાં જ દરેક પદાર્થ પીગળી જતો હોવાથી બહારથી ગરમી આપીને પ્લાઝમા મેળવી શકાય એવું સાધન બનાવી શકાયું નથી. તો, પછી પ્લાઝમા મેળવવા માટે વાયુને ઉષ્ણતા કઇ રીતે આપવી? વાયુમાં કે વિદ્યુત ક્ષેત્ર દ્વારા મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન પ્રવેગિત કરી પ્લાઝમાને અંદરથી ગરમી આપી શકાય. આ પ્રકારે ઉષ્મા આપવાની રીતને 'ઓહ્મિક' પદ્ધતિ કહે છે. આ તો વિદ્યુત સગડીમાં મુક્ત થયેલા ઈલેક્ટ્રોનના પ્રવાહ દ્વારા વીજળીના તારનું ગુંચળું ગરમ થાય એના જેવી જ વાત છે. અથડામણમા ઈલેક્ટ્રોન ની ઊર્જા કંઈ ખાસ ઓછી થતી નથી. કારણ કે આ અથડામણો સ્થિતિસ્થાપક હોય છે. આથી બીજા કણો કરતા ઈલેક્ટ્રોન ઝડપથી ઊંચું તાપમાન પ્રાપ્ત કરી લે છે. પ્લાઝમા મેળવવા માટે પૂરતા પ્રમાણમાં ઊંચી તીવ્રતાવાળા વિદ્યુત ક્ષેત્રની જરૂર પડે છે. આનો ચોક્કસ અંદાજ તો ઉપકરણની ભૌમિતિક રચના અને વાયુના દબાણને આધારે કાઢી શકાય, તથા વિદ્યુતક્ષેત્ર, વિદ્યુત ઈલેક્ટ્રોડનો અથવા ટ્રાન્સફોર્મરનો ઉપયોગ કરી શકાય. ટ્રાન્સફોર્મરમાં બદલાતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર વિદ્યુત ક્ષેત્રનું ઉત્પાદન કરે છે. ૮ KeV અર્થાત ૧૦૦,૦૦૦,૦૦૦K તથા 10^{19} ઈલેક્ટ્રોન પ્રતિ ઘનમીટર જેટલી ઘનતાવાળા પ્લાઝમા પ્રયોગશાળામાં ટ્રાન્સફોર્મર પદ્ધતિ દ્વારા પેદા કરી શકાય છે, પરંતુ આ ઘનતા રોજીંદા જીવનમાં વાયુની ઘનતા જોવા મળે છે તેનાથી ઘણી જ ઓછી છે. ક્રમશઃ પર્યાવરણમાં આ ઉષ્ણાતાનું નિર્ગમન થવાને લીધે તાપમાન ઓછું થતું જાય છે.

ખૂબ જ ઊંચા તાપમાનવાળા અને ઓછી ઘનતાવાળા પ્લાઝમા આયન અને ઈલેક્ટ્રોન અલગ અલગ દાખલ



આકૃતિ ૬ : ચુંબકીય દર્પણ પ્રણાલીની રચના (Source: jick.net)

કરીને બનાવી શકાય છે. ચુંબકીય દર્પણ પ્રણાલીમાં (magnetic mirror system **આકૃતિ ૬**) ઊંચી તીવ્રતાવાળા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાંથી ઓછી તીવ્રતાવાળા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં વિદ્યુતભારિત કણો એક છેડેથી બીજે છેડે પરાવર્તિત થતાં રહે છે, અને ચુંબકીય દર્પણના ક્ષેત્રમાં બંધિત અવસ્થામાં રહે છે. ચુંબકીય દર્પણ એ એક એવું સાધન છે જે ચુંબકીય ક્ષેત્રની વિશિષ્ટ રચનાને લીધે ઉષ્ણ અને વિદ્યુત ભારિત પ્લાઝમાને બંધિત અવસ્થામાં રાખી શકે છે.

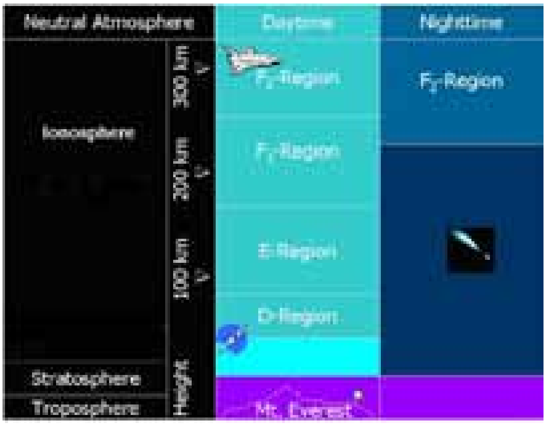
ઊંચા તાપમાને પ્લાઝમા મેળવવા તથા તેને બંધિત અવસ્થામાં રાખવા માટે વલયાકાર (ટોરોઇડ) ચુંબકીય ક્ષેત્રનો ઉપયોગ પણ કરવામાં આવે છે. ઉષ્માનાભિકીય સંલયન સંયંત્રમાં ઊર્જા મેળવવા માટે આ યુક્તિ ઉપયોગી છે. આવનારા દિવસોમાં ઊર્જા મેળવવા માટે આવા સંયંત્રો વાસ્તવિક બનશે. લેઝર કિરણોનો ઉપયોગ કરીને પણ પ્લાઝમા મેળવી શકાય છે. અન્ય પદ્ધતિઓમાં ઉચ્ચ તાપમાન મેળવવા અવાજ કરતાં ઝડપી તરંગોનો તેમની પાછળ ઉદ્ભવતાં ''શોક ફ્રન્ટ''નો ઉપયોગ પણ થાય છે. લેસર બીમનો ઉપયોગ પણ આને માટે થઇ શકે છે.

કુદરતમાં પ્લાઝમા કેવી રીતે બને છે?

આપણે જોયું કે, પ્લાઝમા મેળવવા માટે વાયુને ઊંચા તાપમાન સુધી ગરમ કરવો પડે છે. પ્રયોગશાળામાં

પ્લાઝમા મેળવવા માટે જે ક્રિયા કરવી પડે છે એવી જ કુદરતમાં પણ ગરમી અને આયનીકરણ પ્રક્રિયાઓ થતી હોય છે. વીજળી દ્વારા પેદા થતાં પ્લાઝમામાં, વિદ્યુત પ્રવાહને કારણે વાતાવરણ પણ એજ રીતે ગરમ થાય છે, જેમ ઓહ્મિક રીતે પ્લાઝમા ગરમ થાય છે, સૂર્ય અને તારાઓમાં પ્લાઝમા અંદરથી ગરમી પ્રાપ્ત કરે છે, જે નાભિકીય સંલયન પ્રક્રિયાઓને લીધે થાય છે. સૂર્યના કોરોનામા સૂર્યની સપાટી પરથી ઊઠતા તરંગો દ્વારા તેનું વાતાવરણ ગરમ થઈ પ્લાઝમા બને છે.

અયનમંડળમાં (**આકૃતિ-૭**) પ્લાઝમા ગરમીને લીધે નહીં પરંતુ સૂર્યમાંથી આવતા શક્તિશાળી ફોટોનને લીધે ઉત્પન થાય છે. અયનમંડળ આપણાં વાતાવરણના છેડાનો વિસ્તાર છે (લગભગ ૨૦૦-૫૦૦ કિલોમીટરની ઊંચાઈએ). આ વિસ્તારમાં ઈલેક્ટ્રોન અને આયનનું



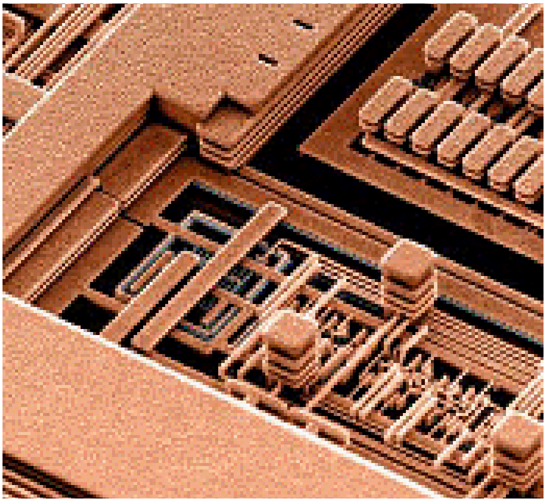
આકૃતિ ૭ : અયનમંડળ તથા અલગ અલગ ઊંચાઇએ તેના સ્તરો (Source: solar-center.stanford.edu)

પ્રમાણ વધારે હોવાથી રેડિયો તરંગોનું પ્રસરણ શક્ય બને છે. સૂર્યમાંથી આવતાં ઊર્ધ્વ-પારજાંબલી કિરણો અને એક્સ-રે માં પૃથ્વીના વાતાવરણમાં રહેલા પરમાણુઓને આયનીકૃત કરવા માટે પૂરતી ઊર્જા હોય છે. કેટલીક ઊર્જા ઉપરના વાતાવરણને ગરમ કરવામાં ખર્ચ થાય છે. આ વિસ્તાર સૌથી બહારનો ગરમ વિસ્તાર છે અને તે થર્મોસ્ફિયર તરીકે ઓળખાય છે. આ પ્રક્રિયાઓ શક્તિશાળી ફોટોનથી પૃથ્વીનું રક્ષણ એ જ રીતે કરે છે જેમ ઓઝોનનુ આવરણ નિમ્નઊર્જાવાળા પારજાંબલી પ્રકાશથી પૃથ્વી પરની જીવસૃષ્ટિનું.

પૃથ્વીની સપાટીથી ઉપર ૩૦૦ કિલોમીટરના અંતરે ૧૨૦૦ K એટલે કે લગભગ ૦.1 eV જેટલુ તાપમાન હોય છે. પૃથ્વીની સપાટીની સરખામણીમાં આ અત્યંત ગરમ વિસ્તાર હોવા છતાં સ્વયં-આયનીકરણ માટે આ તાપમાન ઘણું ઓછું કહેવાય. સૂર્યાસ્ત સાથે આયનોસ્ફિયરમાં આયનીકરણનો સ્રોત પણ અદ્રષ્ય થઇ જાય છે, અને નીચેનો વિસ્તાર પ્લાઝમાવિહીન થવા લાગે છે. કેટલાક આયનો જેવા કે એકમ ધન વીજભાર ધરાવતો ઓક્સિજન (O+) બીજા સૂર્યોદય સુધી પ્લાઝમા સ્વરૂપે રહે છે. ધ્રુવીય પ્રકાશ (Aurora) માં રાત્રે અથવા દિવસ દરમિયાન વાતાવરણમાં હજારો ઈલેક્ટ્રોન વોલ્ટનો પ્રહાર થાય છે અને પ્લાઝમા ઉત્પન્ન થાય છે.

રોજિંદા જીવનમાં પ્લાઝમા

આજે વિદ્યુતના સઘળા સાધનો ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ પર આધારિત હોય છે (**આકૃતિ-૮**). માત્ર કોમ્પ્યુટર જ નહીં પરંતુ મોટરકાર, માઈક્રોવેવ ઓવન, ઘડિયાળ બધામાં ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ હોય છે. કોઈપણ ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ



આકૃતિ ૮ : સૂક્ષ્મદર્શક દ્વારા લેવાયેલા આ ફોટામાં ચિપનો નાનામાં નાનો તાર વાળ કરતાં સો ગણો પાતળો છે. (Source: Computer Chips and Plasma, www.plasmacoalition.org)

પ્લાઝમાના ઉપયોગ વગર બનતી નથી. પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કરવાથી ટ્રાન્ઝિસ્ટર અને વાહક તાર મનુષ્યના

વાળ કરતા પણ પાતળા બનાવી શકાય છે. પ્લાઝમા વગર ટ્રાન્ઝિસ્ટર વિશાળ કદના બને, અને ચિપ મોંઘી, ધીમી અને ઓછી શક્તિવાળી.

મોટરકાર, વહાણો, પૂલ, જેટ એન્જિન, પાઈપલાઈન, ગરમ પાણીની પ્રણાલી, મકાનોના બાંધકામ માટેના લોખંડના માળખાઓ, અને બીજી ઘણી બધી વસ્તુઓ માટે ધાતુને એકબીજા સાથે સાંધવી પડે છે. ધાતુઓને સાંધવા માટે વેલ્ડિંગમાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ થાય છે.

આપણે દિવસ અને રાત્રિ દરમિયાન પ્રકાશ માટે ટ્યૂબલાઈટ કે સીએફએલ (CFL) નો ઉપયોગ કરીએ છીએ તેમાં પણ પ્લાઝમા હોય છે. પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કરીને જાહેરાતોના ઝળહળતા ડિસ્પ્લે મૂકવામાં આવે છે **(આકૃતિ-૯A અને આકૃતિ-૯B)**. દુકાનોના સાઈનબોર્ડ અને વિશાળ કદની જાહેરાતો, ચપટા પ્લાઝમા ટીવી, દરેકમાં પ્લાઝમા હોય છે. ટીવીની દુનિયામાં પ્લાઝમાએ આજે ધૂમ મચાવી દીધી છે.

છેલ્લા દાયકામાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ ચિકિત્સાવિજ્ઞાનમાં સંશોધન માટે તથા સ્વાસ્થ્ય સેવાઓમાં પણ થઈ રહ્યો છે. શરીરમાં હાનિકારક જીવાણુંઓને દૂર કરવા, તંદુરસ્ત કોષને નુકશાન કર્યા

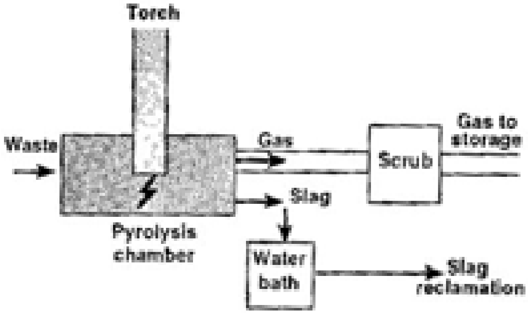
આકૃતિ ૯A : પાનાસોનિકનું ૧૪૫ ઈંચનું પ્લાઝમા ટીવી
(Source: Panasonic Corporation)

આકૃતિ ૯B : પ્લાઝમાનું સાઇન બોર્ડ
(Source: news.slacs.stanford.edu)

વગર લોહી વહેતું અટકાવવા, ઘા વકરતો અટકાવવા; અને તેને રૂઝવવા તથા કેટલાક કિસ્સાઓમાં કેન્સરના કોષોનો નાશ કરવા માટે પણ પ્લાઝમા પદ્ધતિ ઉપયોગી પુરવાર થઈ રહી છે.

જંતુમુક્ત અને ચેપ રહિત કરી શકે એવા પ્લાઝમા તૈયાર કરવા માટેની કેટલીક નવી રીતો પણ વિજ્ઞાનીઓએ વિકસાવી છે. આ પ્લાઝમા સામાન્ય તાપમાને રહેતો હોવાથી ''ઠંડા'' પ્લાઝમા તરીકે ઓળખાય છે કારણ કે પ્લાઝમાનું તાપમાન ઓરડાના તાપમાનની આસપાસ જ હોય છે. આથી આવો પ્લાઝમા કોઈ સપાટીના સંપર્કમાં આવે તો તેને નુકશાન કરતો નથી.

પ્લાઝમામાં રહેલાં વીજભારિત અને તટસ્થ કણોનું તાપમાન કચરાનું દહન કરવાની સામાન્ય ભઠ્ઠી કરતાં ઘણું ઊંચું જઈ શકે છે, આથી તે કચરાને પૂરેપુરો ભસ્મીભૂત કરી નાખે છે. પ્લાઝમાને આ માટે ગેસનો



આકૃતિ ૧૦ : પ્લાઝમા પાઇરોલિસિસ પ્લાન્ટ
(Source: cO3.apogee.ne)

ઓછો પ્રવાહ પણ પૂરતો છે, જ્યારે સામાન્ય ભઠ્ઠીમાં ખરાબો બાળવા માટે વધારે પ્રમાણમાં ઓક્સિજન અને હવાની જરૂર પડે છે. પ્લાઝમા ભઠ્ઠીમાં ઉચ્ચ તાપમાન મેળવવા માટે હવા કે ઓક્સિજનની જરૂર નથી પડતી. એટલે મ્યુનિસિપાલિટી અને દવાખાનાનો કચરો બાળવા માટે પ્લાઝમા ભઠ્ઠી **(આકૃતિ ૧૦)** વધારે કાર્યક્ષમ સાબિત થઈ શકે છે.

આકૃતિ ૧૦ માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે 'ટોર્ચ' એ ''પ્લાઝમા ટોર્ચ'' છે, જેમાંથી પ્લાઝમાનો પ્રવાહ જોઈતી દિશામાં સીધો જ આવે છે. સ્ક્રબર વાતાવરણમાં ભળતા પ્રદૂષકોને ઘટાડવા માટેનું કામ કરે છે. આ માટે મોંઘા ફિલ્ટર વાપરવાની જરૂર પડતી નથી. 'સ્લેગ'

કાચ જેવો વધારાની નીપજ તરીકે મળતો પદાર્થ છે. તેમાં સામાન્ય રીતે ધાતુના ઓક્સાઇડ અને સિલિકોન ડાયોક્સાઇડ હોય છે.

પ્લાઝ્મા સર્વવ્યાપી છે

પ્રદૂષણ મુક્ત ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવા માટે ઉષ્માનાભિકીય સંલયન સંયંત્રમાં પ્લાઝ્મા આપણું ભવિષ્યનું સપનું સાકાર કરી શકે તેમ છે. આપણે જોયું કે પ્લાઝ્મા પદાર્થનું પહેલું (કે ચોથું?) સ્વરૂપ વિશ્વમાં ૯૯ ટકા થી વધુ પ્રમાણમાં અસ્તિત્વમાં છે, પણ પ્રયોગશાળામાં પ્લાઝ્માનું નિર્માણ કરવું એ એક પડકાર છે. તેનો આપણા લાભ માટે ઉપયોગ કરવો એ એનાથી મોટો પડકાર છે. તેમ છતાં પ્લાઝ્માના અસંખ્ય ઉપયોગો ઉદ્યોગોમાં નવી ટેક્નોલોજી સાથે રોજિંદા જીવનમાં સાકાર થઈ રહ્યાં છે. સૂક્ષ્મવીજાણુ ઉપકરણોથી લઈને મોટા પડદા પર જાહેરાતો, પ્રકાશ, પેકેજિંગ, સૌર કોષથી લઈને જેટ એન્જિન સુધી અને માનવ અંગોના પ્રત્યારોપણ માટેના સાધનોમાં પણ પ્લાઝ્માનો ઉપયોગ થઈ રહ્યો છે. પ્લાઝ્મા એચિંગ (etching) ખૂબ નાના અને સ્પષ્ટ રેખાંકન કરવા માટે આવશ્યક છે. આ બધાનું પરિણામ એટલે આપણા જીવનની સુધરતી જતી ગુણવત્તા !

સંદર્ભ

૧. www.plasmacoalition.org : પ્લાઝ્મા વિજ્ઞાનને લગતા લોકભોગ્ય વિજ્ઞાન લેખો માટે

૨. Encyclopedia Britannica : પ્લાઝ્મા ભૌતિકશાસ્ત્રના લેખો માટે

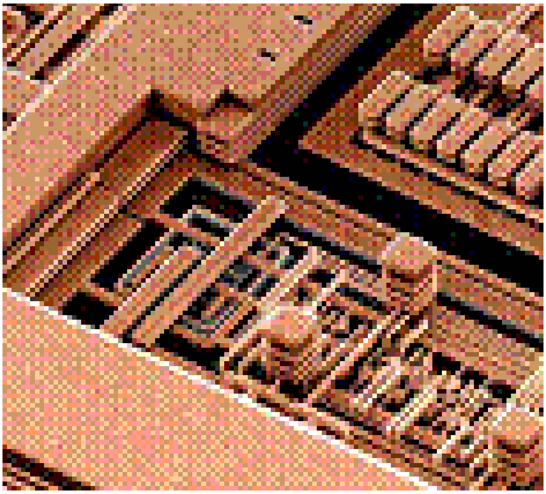
૩. www.howstuffworks.com

૪. Wikipedia ના કેટલાક લેખ

ચિપ અને પ્લાઝમા

જગત ચિપ પર નભે છે

આજનું વિશ્વ ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ થકી ચાલી રહ્યું છે. કોઈ પણ ઈલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણનો વિચાર કરો તેમાં ચિપ મળી જ રહેશે. આજ નાં ઉપયોગ માં લેવાતા મોટા ભાગ નાં ઉપકરણો જેવા કે કોમ્પ્યુટર, કાર, ટેલીવિઝન સેટ, રેડિયો વગેરે માં ચિપ નો ઉપયોગ થાય છે, અને રસપ્રદ બાબત એ છે કે પ્લાઝમાના ઉપયોગ વગર આપણે ચિપ બનાવી પણ શકતા નથી. એવું કેમ? કારણ કે પ્લાઝમા ટેકનોલોજી નો ઉપયોગ કરીને આપણે ટ્રાન્ઝીસ્ટર અને એવા વાયર બનાવી શક્યા છીએ કે જે મનુષ્યના વાળ કરતાં પણ અનેક ગણા પાતળા (**આકૃતિ ૧**) હોય છે. જો પ્લાઝમા ના હોત તો ટ્રાન્ઝીસ્ટરનું કદ ઘણું મોટું હોત, જેથી કરીને ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ ની કાર્ય ક્ષમતા પણ ઘટી જાત અને કિંમત પણ વધારે હોત.



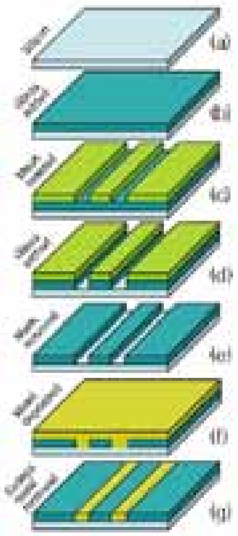
આકૃતિ ૧ : ચિપ પર વાયરીંગ : સૌથી પાતળો વાયર વાળ કરતા પણ ૧૦૦ ગણો પાતળો હોય છે. (ચિત્ર સ્રોત : International Business Machines Corporation)

ઈન્ટેલ અને સેમસંગ જેવી કંપનીઓમાં વૈજ્ઞાનિકો અને એન્જીનીયર પ્લાઝમાના આગવા ગુણધર્મોનો ઉપયોગ કરીને કોમ્પ્યુટર ની ચિપ બનાવે છે, જેના કારણે આજ નાં ઈન્ફોર્મેશન અને ટેકનોલોજીના યુગમાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ અનિવાર્ય થઇ ગયો છે. કોઈ પણ સામાન્ય વાયુ કે હવાની મદદથી પ્લાઝમા બનાવી શકાય છે, જેમાં ઊર્જા આપીને અણુમાંથી ઈલેક્ટ્રોન અલગ કરવામાં આવે છે. મોટાભાગે ઈલેક્ટ્રોનને અણુઓમાંથી અલગ કરવા માટે વિદ્યુતનો ઉપયોગ થાય છે, જેથી કરીને ઈલેક્ટ્રોન ખુબ ઊંચા તાપમાને પહોંચી જાય છે- લગભગ ૧૨૦૦૦°C ની આસપાસ. આટલા ઉષ્ણ અને શક્તિશાળી ઈલેક્ટ્રોન અણુઓ અને પરમાણુઓ સાથે ટકરાઈને તેમના બંધિત ઈલેક્ટ્રોનને હટાવી દે છે, અને અંતે ઈલેક્ટ્રોન અને ધન વીજભાર ધરાવતા આયનોનું નિર્માણ થાય છે. ફ્લોરેસન્ટ લાઈટ (ટ્યુબ લાઈટ કે સીએફએલ) એ પ્લાઝમા નું સૌથી સામાન્ય વપરાશનું ઉદાહરણ છે, જેમાં આર્ગોન વાયુ અને અલ્પ માત્રામાં પારો ભરવામાં આવે છે. જ્યારે આપણે વિદ્યુત પસાર કરીએ છીએ ત્યારે ટ્યુબમાં રહેલો ગેસ ઝગઝગતા પ્લાઝમામાં રૂપાંતરિત થાય છે. આગળ જણાવ્યા પ્રમાણે પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કોમ્પ્યુટરની ચિપ્સ બનાવવા માટે પણ થાય છે - ચાલો આપણે સમજીએ કે ચિપ્સ કેવી રીતે બનાવવામાં આવે છે (**આકૃતિ ૨**).

ચિપ પડવાળી કેક જેવી હોય છે

ચિપ, સ્તર કે પડવાળી કેક જેવી હોય છે - માત્ર એક પડ ઉપર બીજું પડ લગાવતા પહેલા પ્રથમ પડ નાં ન જોઈતા ભાગો દૂર કરવામાં આવે છે. જટિલ, ત્રિપરિમાણીય ચિપ એક પડ પર બીજું પડ લગાડીને કેવી રીતે બનાવવામાં આવે છે? પહેલા આવશ્યક પદાર્થ નું પાતળું સ્તર ચઢાવવામાં આવે છે અને પછી ન જોઈતા ભાગો દૂર કરવામાં આવે છે. આ વિધિ નું ઘણી વાર પુનરાવર્તન કરવામાં આવે છે (**આકૃતિ-૨**). શરૂઆત માં સીલીકોનની પાતળી સમતલ તકતીનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે (a), અને આખી તકતી પર કાચનું પાતળું આવરણ લગાવવામાં આવે છે (b). ત્યાર બાદ તકતી પર પ્રકાશ માટે સંવેદનશીલ એવી ફિલ્મ લગાવવામાં આવે છે, જેને ફોટોરેઝીસ્ટ પણ કહે છે. ફિલ્મ નાં અનાવશ્યક ભાગો દૂર કરવા માટે લેઝર

પ્રકાશ નો ઉપયોગ થાય છે. આ વધેલી ફિલ્મ ને માસ્ક કહે છે (c), જે તકતીનાં ભાગો ને એટ્ચ (Etch) કરતી વખતે નીકળી ન જાય તે માટે રક્ષણ આપે છે(d). એટ્ચ (Etch) કરવાની વિધિ તો ખરેખર પ્લાઝમા દ્વારા થતી પ્રક્રિયા છે. Etching નો અર્થ થાય છે કોતરવું કે નકશી કરવી.



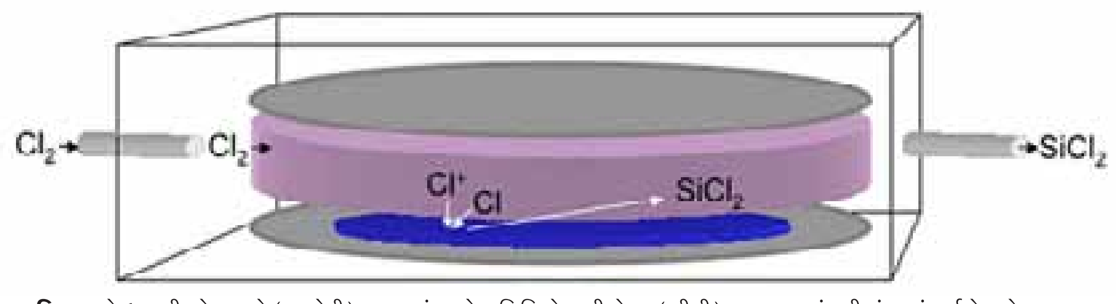
આકૃતિ ૨ : કોમ્પ્યુટર ની ચિપ બનાવવાના વિવિધ ચરણો

Etchingની પ્રક્રિયા પૂરી થયા બાદ માસ્ક ને દૂર કરવામાં આવે છે (e). ત્યાર બાદ ધાતુ ની એક પાતળી ફિલ્મ તકતીની સપાટી પર લગાવવામાં આવે છે (f). અંતમાં તકતી પરની વધારાની ધાતુ ને પોલિશ કરવામાં આવે છે, જેથી ધાતુના તારવાળું પડ તથા કાચ નું અવાહક આચ્છાદન બાકી રહે છે (g). આ સપાટી ઉપર કાચ નું વધારાનું આવરણ લગાવવામાં આવે છે અને આ વિધિનું અનેકવાર પુનરાવર્તન કરવામાં આવે છે. આમ ત્રિપરિમાણીય વાયરીંગની સર્કિટવાળું એક જટિલ નેટવર્ક તૈયાર થાય છે. જુદા-જુદા સ્તરો વચ્ચે જોડાણ કરવા માટે કાચ માં નાના છિદ્રો કરીને તેમાં ધાતુ ભરવામાં આવે છે.

ચિપ બનાવવામાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ

આવી રીતે કાચ અને ધાતુની સપાટીઓ જોડીને તથા દરેક સપાટી પર નો અનાવશ્યક પદાર્થ દૂર કરીને ચિપ બનાવવામાં આવે છે. પરંતુ આ પ્રક્રિયામાં પ્લાઝમા નો ઉપયોગ ક્યાં થાય છે? અમુક આયન અને પ્લાઝમા નાં અણુ તકતીની સપાટી સાથે રાસાયણિક પ્રક્રિયા કરે છે. આ પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા પ્લાઝમાના વિવિધ ઘટકો દ્વારા એન્જીનીયરો ચિપ નાં જટિલ સ્તરોનું અને ફળ સ્વરૂપ ચિપનું નિર્માણ કરવામાં સફળ થયા છે.

હવે જોઈએ કે કેવી રીતે પ્લાઝમાની મદદથી સીલીકોન ની તકતી (અથવા વેફર)ને etch કરવામાં આવે છે. સીલીકોન વેફર ને ધાતુ ની બે પ્લેટો વચ્ચે વેક્યુમ ચેમ્બરમાં મૂકવામાં આવે છે **(આકૃતિ ૩)**. પ્લેટોની વચ્ચે રહેલો ગેસ વેક્યુમ પંપ દ્વારા દૂર કરવામાં આવે છે અને વેક્યુમ ચેમ્બર માં અલ્પ માત્રામાં ક્લોરીન ગેસ છોડવામાં આવે છે. ધાતુની બંને પ્લેટોને ઊંચા વોલ્ટેજનાં સ્રોત સાથે જોડવામાં આવે છે, જે પ્રતિ સેકન્ડે ૧ કરોડ વાર ચાલુ/બંધ થાય છે. પ્લેટો પર નાં ઊંચા વોલ્ટેજને કારણે ચેમ્બર માં ભરેલો ક્લોરીન વાયુ વીજભારિત બને છે, અને વેફર ની ઉપર ઝગમગતો પ્લાઝમા બને છે. ક્લોરીનના અણુ સાથે પ્લાઝમા ની પ્રક્રિયા થતાં ક્લોરીનના પરમાણુ (Cl) તથા ક્લોરીન નાં આયન(Cl^+) છુટા પડે છે અને વેફરની સપાટી પર સીલીકોન નાં પરમાણુ સાથે જોડાય છે; અને



આકૃતિ ૩ : બે ધાતુની પ્લેટ વચ્ચે (રાખોડી) મૂકવામાં આવેલ સિલિકોન ની વેફર (નીલી). પ્લાઝમા જાંબલી રંગ માં દર્શાવેલ છે.

$SiCl_2$ ગેસ બનાવે છે આ ગેસ ને પ્લાઝમાથી પંપ દ્વારા બહાર કાઢી નાખવામાં આવે છે. આ દરમિયાન સીલીકોન નાં પરમાણુઓ દૂર થઈ જાય છે. પેટર્ન પ્રમાણે બનાવેલ ફોટોરેઝીસ્ટ નાં માસ્ક દ્વારા સપાટી પરના સીલીકોનનાં આવશ્યક ભાગનું ક્લોરીન નાં પરમાણુ થી રક્ષણ થાય છે, અને વેફર પર જોઈતો પેટર્ન તૈયાર થાય છે. આ પ્રક્રિયા આકૃતિ ૨નાં (c) અને (d) ચરણમાં બતાવી છે.

પ્લાઝમા વડે વેફર પર પાતળી ફિલ્મ લગાવવી

ચિપ બનાવવા માટે ઘણી વાર વેફર પર પાતળી ફિલ્મ લગાવવી જરૂરી બને છે. આ વિધિ etching થી તદ્દન વિપરીત છે. તકતી પર ઘન પદાર્થ લગાવવા માટે ઉપયોગ માં લેવાતા ગેસમાં જરૂરી તત્વનાં પરમાણુ હોવા જોઈએ. સિલેન (SiH_4) ગેસ નો ઉપયોગ તકતી પર પ્લાઝમા દ્વારા સિલિકોન લગાવવા માટે થઈ શકે. પ્લાઝમામાં ઉપસ્થિત ઈલેક્ટ્રોન, SiH_4 અણુનું વિભાજન સિલિકોન અને હાઈડ્રોજનનાં પરમાણુમાં કરે છે. સિલિકોન તકતી ની સપાટી પર ચોંટી જાય છે, અને અનાવશ્યક હાઈડ્રોજનને પંપ દ્વારા બહાર કાઢી નાંખવામાં આવે છે. થોડીક મિનિટોમાં જ સિલિકોનનાં પરમાણુઓ એકત્રિત થઈને આખી તકતી (વેફર) ઉપર ઘન સિલિકોનની ફિલ્મ બનાવે છે. સિલિકોનનાં આ એક સમાન સ્તરને ફોટોરેસિસ્ટ દ્વારા જે પ્રકાર ની સર્કિટ જોઈએ તેવા પેટર્નમાં ગોઠવી અનાવશ્યક ભાગને etching દ્વારા કાઢી નાખવામાં આવે છે, જેથી કરીને ઉપયોગી સર્કિટ કે સાધનો બતાવી શકાય. SiH_4 ને બદલે આપણે SiHx જેવા અન્ય સંયોજનનો ઉપયોગ પણ આ વિધિ માટે કરી શકીએ. અહી x નું અલગ અલગ મૂલ્ય હોઈ શકે, જે અણુઓની સંખ્યા દર્શાવે છે. કોઈ વિશાળ વાણિજ્યિક રીતે ઉત્પાદન કરતી કંપનીઓ માં પાતળી તકતીઓ અર્થાત વેફર પર યોગ્ય વિધિ કરવા માટે રોબોટ નો ઉપયોગ થાય છે, જેમ કે આકૃતિ ૨ માં દર્શાવેલ ચરણ (c) તથા (d).

ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ : ૪૦ વર્ષ પહેલાં અને આજે

ચાલીસ વર્ષ પહેલા ચિપ કેવી રીતે બનતી? ચીપ નાં ઉત્પાદનના વિવિધ ચરણો માં ત્યારે પ્લાઝ્માને બદલે પ્રવાહી રસાયણો કે ઉષ્ણ ગેસ નો ઉપયોગ થતો. Etching માટે સાદા એસિડ નો ઉપયોગ થતો. એસિડ તો વેફર પર etching કરે જ છે, પરંતુ માસ્કની નીચે પણ કરે છે! આથી સૂક્ષ્મ એવા સર્કીટનાં પેટર્ન એસિડ દ્વારા બનાવવા સંભવ નથી. પ્લાઝમા સીધો જ વેફર/ તકતી પર જ etch કરે છે તેથી સૂક્ષ્મ પેટર્ન બનાવવી શક્ય બને છે. ઉચ્ચ વોલ્ટેજ ને કારણે પ્લાઝમાના કણો ઊર્જિત થાય છે, અને તેમાં રહેલ આયન ઝડપથી તકતી પર ગતિ કરે છે. આથી etching કાર્યક્ષમ રીતે થાય છે. આવી રીતે ચિપ આજે ખૂબ જટિલ બનવાની સાથે ટ્રાન્ઝીસ્ટર પણ ખુબ નાના આકારના બન્યા છે. વધુમાં, પ્લાઝમા જોખમી એવો કચરો પણ રાસાયણિક પ્રક્રિયા કરતા બહુ જ અલ્પ પ્રમાણમાં પેદા કરે છે. આથી પ્લાઝમા પર આધારિત ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન પર્યાવરણ માટે બહુ ઓછા પ્રમાણમાં નુકસાનકર્તા હોય છે.

અહીં આપણે માત્ર બે જ ઉદાહરણોની ચર્ચા કરી જેમાં પ્લાઝમા નો ઈલેક્ટ્રોનિક ચિપ બનાવવા માટે ઉપયોગ થાય છે. લેઝરમાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ ફોટોરેસિસ્ટનાં સ્તર પર જરૂરી તેવો પેટર્ન બનાવવા માટે થાય છે, અને તેનો ઉપયોગ "dopant" આયન બનાવવા માટે પણ થાય છે, જેથી સિલિકોનનો વાહકતાનાં ગુણધર્મોમાં બદલાવ લાવીને ટ્રાન્ઝીસ્ટરનું ઉત્પાદન કરી શકાય છે. આજે કોમ્પ્યુટર ચિપ બનાવવા માટે ઉત્પાદનનાં અડધાથી વધુ ચરણોમાં પ્લાઝમા ઉપર આધાર રાખવો પડે છે. આવી અત્યાવશ્યક પ્લાઝમા ટેકનોલોજીને હિસાબે જ આજની આધુનિક ટેકનોલોજીઓ શક્ય બની છે અને અનેક સાધનો કે ઉપકરણો બનાવવા સંભવ બન્યા છે.

સંદર્ભ

1. http://www.plasmacoalition.org. a highly resourceful website on plasmas and their applications.
2. "Computer Chips and Plasma" by Jeffrey Hopwood (ibid.). The present article draws heavily on this article.
3. Image Courtesy: Microfabrication Laboratory, Northeastern Universirty;

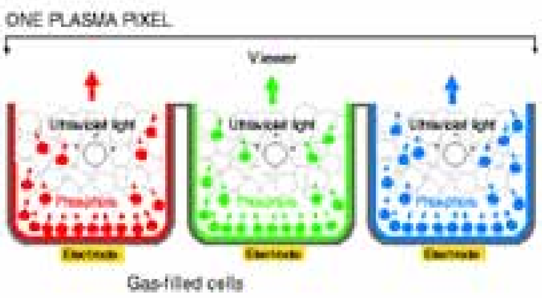
પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલ

વર્તમાન સમયમાં વિશાળ અને ચપટા પ્રદર્શન પટ ધરાવતાં પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે અને ચપટા, પટવાળા ટેલિવિઝન સેટ ઘણા લોકપ્રિય બન્યા છે **(આકૃતિ ૧)**.

આકૃતિ ૧ : આજના PDP 80" ની લંબાઈ (વિકર્ણની) ધરાવે છે અને તેમાં લાખો રંગ ઉત્પન્ન કરતાં ઘટકો હોય છે.

ઘણા લોકો માટે પ્લાઝમાનો અર્થ ડિસ્પ્લે માટેના પટ અથવા સ્ક્રીન એવો જ થતો હોય છે, પ્લાઝમા ડિસપ્લે ખૂબ ભવ્ય અને અસરદાર હોય છે. પરંતુ પ્લાઝમાનો અર્થ પદાર્થની એક અવસ્થાનો છે, જે આ ડિસ્પ્લેની અંતર્રચનામાં અવસ્થિત હોય છે, અને પ્રકાશ અને ચિત્રોનું નિર્માણ કરે છે. વધુમાં પ્લાઝમા એવા સાધનોમાં ઉપસ્થિત હોય છે, જેનો આપણે રોજીંદા જીવનમાં ઉપયોગ કરીએ છીએ. ખરેખર, પ્લાઝમા એક ગેસ છે જેમાં ઋણ અને ધન વિદ્યુતભારિત કણો હોય છે. ધન વિદ્યુતભાર ધરાવતા કણોને આયન કહેવામાં આવે છે. ઘણા ખરા પ્લાઝમામાં વિદ્યુતભારવિહિન એવા કણો (અણુઓ) પણ મોટી સંખ્યામાં હોઇ શકે. વિશ્વ તો પ્લાઝમાથી ભરેલું છે. ડિસ્પ્લે પેનલનો પ્લાઝમા પણ ટ્યૂબ લાઈટ કે સીએફએલ લેમ્પમાં હોય છે તેવો જ પ્લાઝમા હોય છે.

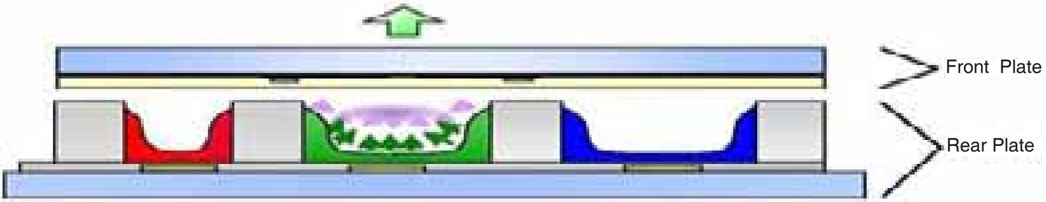
''પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલ'' અર્થાત પીડીપી (PDP) એટલે શું? પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલ તો મૂળભૂત રીતે આકારમાં ખૂબ નાના ફ્લોરેસન્ટ લેમ્પનો સમૂહ જ હોય છે, જેનું આકારમાન એક મિલિમિટરના દશમાં ભાગ જેટલું જ હોય છે. ખૂબ જ નજીકથી જોઇએ તો પીડીપીના પ્રત્યેક કોષ આપણે ઓળખી પણ શકીએ. સૂક્ષ્મ એવા લાલ, લીલા અને વાદળી ઘટકોથી બનતા



આકૃતિ ૨ : એક પ્લાઝમા પિક્સેલ
(Source: scvitalspeed.hubpages.com)

કોષોને ''પિક્સેલ'' કહેવામાં આવે છે **(આકૃતિ ૨)**.

લાલ, લીલા અને વાદળી રંગના અલગ અલગ ઘટકોને ''સબ-પિક્સેલ'' કહેવામાં આવે છે **(આકૃતિ ૨)**. ફ્લોરેસન્ટ લેમ્પની જેમ, અહીં પણ આપણે જે પ્રકાશ જોઇએ છીએ તે સીધો પ્લાઝમામાંથી



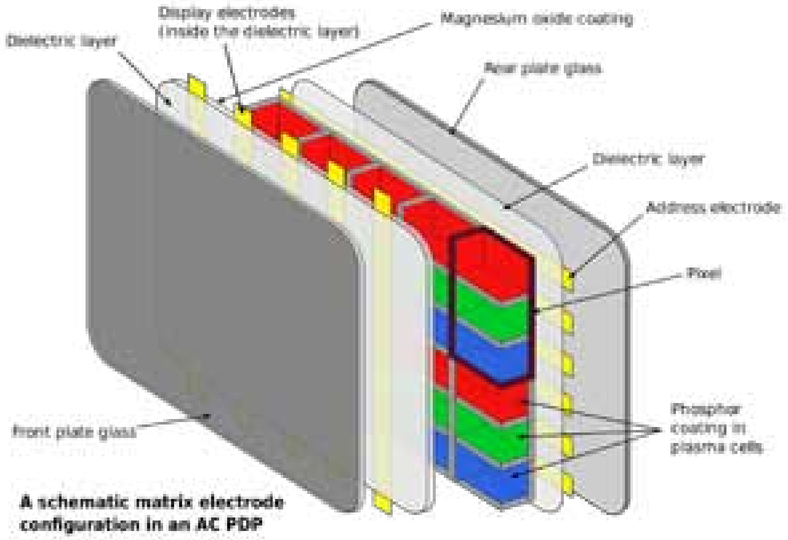
આકૃતિ 3 : એડ્રેસ ઇલેક્ટ્રોડ ગેસને પ્લાઝમા સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત કરે છે. પ્લાઝમા સ્વરૂપમાં રહેલ ગેસ પારજાંબલી કિરણો પ્રક્ષિપ્ત કરીને ડિસ્ચાર્જ ક્ષેત્રમાં અવસ્થિત ફોસ્ફરસ સાથે પ્રક્રિયા કરીને સબપિકસેલમાં લાલ, લીલો અને જાંબલી પ્રકાશ ઉત્પન્ન કરે છે.
(Source: www.ee.buffalo.edu)

નથી આવતો, પરંતુ કોષોની અંદરની સપાટી પર લગાડેલ ફોસ્ફરના આવરણ પરથી આવે છે જ્યારે તેના પર પ્લાઝમામાંથી ઉત્સર્જિત પારજાંબલી વિકિરણ પડે છે. પીડીપીમાં દરેક કોષ પોતાનો વિશિષ્ટ પ્રકાશ પ્રક્ષિપ્ત કરતો હોવાથી, પીડીપીને ઉત્સર્જન ડિસ્પ્લે પણ કહેવાય છે, પરંતુ પીડીપી ''લીક્વિડ ક્રિસ્ટલ ડિસ્પ્લે'' કે એલ. સી.ડી. થી કેવી રીતે જુદું પડે છે? એલ.સી.ડી. પણ એક સપાટ ડિસ્પ્લે છે. પરંતુ તેમાનો પ્રકાશ પ્રવાહી સ્ફટિક પાછળ અવસ્થિત લેમ્પમાંથી આવે છે (એક પ્લાઝમા લેમ્પમાંથી!). તેમાં ગોઠવણ કરેલા નાના સ્વિચની હારમાળા હોય છે અને કયાં પ્રકાશને પાર થવા દેવો તેનું નિયંત્રણ કરે છે.

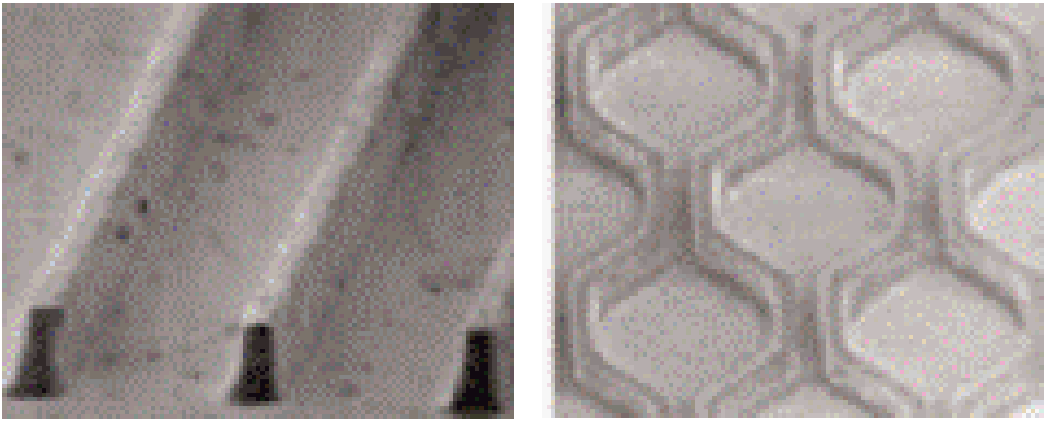
પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલની કાર્યપદ્ધતિ

પ્લાઝમાનું નિર્માણ કરવા માટે ઊર્જાનાં સ્રોતની જરૂર પડે છે. ફ્લોરેસન્ટ લેમ્પની જેમ જ પીડીપીમાં પણ પ્લાઝમા નાની જગ્યામાં રહેલ ગેસ પર વોલ્ટેજ આપવાથી પેદા થાય છે **(આકૃતિ ૩)**. એડ્રેસ ઈલેક્ટ્રોડ દ્વારા ગેસનું રૂપાંતર પ્લાઝમામાં થાય છે. પીડીપીમાં ઉપયોગમાં લેવાતા પ્લાઝમાને ''ઠંડો'' પ્લાઝમા કહેવામાં આવે છે, જેમાં ગેસ તો પ્રમાણમાં ઠંડો રહે છે, પરંતુ ઈલેક્ટ્રોન તથા આયન આપવામાં આવેલ વોલ્ટેજ દ્વારા ગરમ થાય છે. જ્યારે ગરમ ઈલેક્ટ્રોન ગેસના અણુઓ પરમાણુ સાથે અથડાય છે અને તેઓને ઊર્જા અર્પિત કરે છે, ત્યારે આ ગેસમાંના ઘણાખરા પરમાણુઓ પારજાંબલી (UV) વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરે છે. ડિસ્પ્લે માટે જે આવશ્યક પ્રાચલો છે, તેમાં સંમીલિત છે ગેસનું બંધારણ, દબાણ, વોલ્ટેજ, ભૂમિતિ, ઇત્યાદી અને તેની સાથે જ પીડીપીની કામગીરી વ્યવસ્થિત રીતે જળવાઈ રહે તે માટે જરૂરી છે નીચા વોલ્ટેજ પર કામ કરવાની ક્ષમતા, લાંબુ આયુષ્ય, વધારે પ્રકાશિતતા, અને ઉચ્ચ કોન્ટ્રાસ્ટ, અર્થાત્ કોઈ ચિત્રમાં રહેલ શ્યામ તથા શ્વેત રંગ વચ્ચેનો ભેદ.

પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે આમ તો એક સરળ એવી રચના છે **(આકૃતિ-૪)**, અને મિલિમીટરના દશમા ભાગ જેટલા સૂક્ષ્મ અંતરે રહેલા બે ગ્લાસ પ્લેટની બનેલી હોય છે, જેના છેડાઓ સીલ કરેલ હોય છે. આ બન્ને પ્લેટ વચ્ચેની જગ્યા નિષ્ક્રિય ગેસના મિશ્રણ વડે વાતાવરણનાં દબાણ કરતાં સહેજ ઓછા દબાણે ભરેલ હોય છે. એક બીજાને સમાંતર હોય તેવી સ્ટ્રિપનું (પટ્ટીઓનું) દરેક પ્લેટ પર આવરણ ચઢાવવામાં આવે છે. એક પ્લેટ પરની પટ્ટીઓ બીજી પ્લેટ પરની પટ્ટીઓને લંબ હોય છે. આ પટ્ટીઓ ''ઈલેક્ટ્રોડ'' છે. જેના પર વોલ્ટેજ આપવામાં આવે છે. એક ગ્લાસ પરની ઈલેક્ટ્રોડની હાર તથા બીજા ગ્લાસ પરના ઈલેક્ટ્રોડના સ્તંભના છેદગણ (intersection) એ પીડીપીના જૂદા જૂદા રંગતત્વો અર્થાત કોષ-વ્યાખ્યાયિત કરે છે. ઉચ્ચ ગુણવત્તાવાળી રંગીન તસ્વીરો માટે એ જરૂરી છે કે UV વિકિરણ કોષોની વચ્ચે પસાર ન થાય. દરેક કોષને સીલ કરવા માટે પ્લેટની અંદરની સપાટી પર સીમાઓ



આકૃતિ ૪ : પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે એકમ (Source: www.corcuitstoday.com)



આકૃતિ ૫ : દરેક કોષને એકબીજાથી અલગ પાડતી રચના. કોષની દિવાલોની વચ્ચેનું અંતર આશરે ૨૦૦ માઇક્રોમીટર કે માણસના વાળથી દશગણું વધારે હોય છે. (Source: www.plasmacoalition.org)

આંકી દેવામાં આવે છે. આના માટે જૂદા જૂદા પ્રકારના આકારની રચના કરવામાં આવે છે. જેમ કે, મધપુડામાં હોય તેવા ષટ્કોણીય આકાર કે ગર્ત જેવો આકાર **(આકૃતિ-૫).** આ માળખામાં લાલ, લીલો કે જાંબલી ફોસ્ફરસ બેસાડવામાં આવે છે.

પીડીપી નું એક અગત્યનું લક્ષણ એ છે કે દરેક કોષને ઝડપથી ચાલુ-બંધ કરી શકાય છે, જે ઉચ્ચ ગુણવત્તાવાળા ચિત્રમાં પરિણમે છે (દરેક કોષોને સ્વતંત્ર રીતે ચાલુ-બંધ કરવા માટે ખરેખર તો એક તરફ બે ઈલેક્ટ્રોડ અને સામેની તરફ ત્રીજો ઈલેક્ટ્રોડ હોય છે). પહેલાના સમયમાં કોષને સસ્તામાં અને કાર્યક્ષમ રીતે ચાલું-બંધ કરવું મુશ્કેલ હતું, પરંતુ છેલ્લા બે દશકા માં આકાર લઘુ કરવાની તથા ઈલેક્ટ્રોનિક્સ ક્ષેત્રે થયેલ ટેકનોલોજીના વિકાસથી હવે તો આ રોજીંદી વાત બની ચૂકી છે.

વ્યાવસાયિક પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલ

વ્યાવસાયિક પ્લાઝમા ડિસ્પ્લે પેનલ તો લાખો કોષોની બનેલી હોય છે, જે ચાલુ-બંધ થતાં દર સેકંડે ૬૦ પિક્ચર ફ્રેમ બને છે. એક કોમ્પ્યુટર, ચિત્રને ON અને OFF ની વોલ્ટેજ પલ્સની શ્રેણીમાં પરિવર્તિત કરે છે, જેને ઈલેક્ટ્રોડની કતાર પર આપાત કરવામાં આવે છે. કોઇ વિશિષ્ટ કોષને કાર્યાન્વિત કરવા માટે આ વોલ્ટેજ પલ્સને એક રેખાથી તે પછીની રેખામાં આવેલ ઈલેક્ટ્રોડની કતાર પર આપાત કરવામાં આવે છે. આવુ નિયંત્રાણ શક્ય થવાનું કારણ છે પ્લાઝમા ખૂબ જ ઝડપથી પ્રતિસાદ આપે છે અને વોલ્ટેજની પલ્સને દર સેકંડના લાખમાં ભાગમાં પ્રત્યુત્તર આપી શકે છે. જટિલતા ક્રમશઃ ત્યારે વધતી જાય છે જ્યારે આપણે પ્રત્યેક પિક્ચરના નાના ઘટક પર કે પિકસેલ પર ધ્યાન આપીએ, કારણ કે દરેક પિકસેલમાં ત્રણ રંગના સબ-પિકસેલ આવેલા હોય છે અને દરેક રંગનો કોષ તીવ્રતાની ૨૫૬ કક્ષા કે સ્તર દર્શાવી શકે છે. આમ, દરેક પિક્સેલ ૧૬.૭ મિલિયન (૧૬૭ લાખ) જેટલા રંગો દર્શાવી શકે! વધુ ચોક્કસાઈથી કહીએ તો ૨૫૬x૨૫૬x૨૫૬ જેટલા રંગો દર્શાવી શકે! પ્રકાશની તીવ્રતામાં ફેરફાર વોલ્ટેજ કે વીજપ્રવાહના મૂલ્યમાં ફેરફાર કરીને નથી કરવામાં આવતો, પરંતુ કોઈ કોષ કેટલા સમય સુધી ટીવીની દરેક ફ્રેમ દરમિયાન “ON” કે “OFF” છે તે સમયને નિયંત્રિત કરીને કરવામાં આવે છે. ટીવીના ચિત્રની આવૃત્તિ કરતા આંખની પ્રતિક્રિયા ધીમી હોવાથી, કોષ કેટલો સમય “ON” છે કે “OFF” છે તે સમય ઉપર આપણને દેખાતા રંગો આધાર રાખે છે. આપણે એક વાતનો અહી ઉલ્લેખ કરીએ કે PDPનું ઉત્પાદન કરતી દરેક કંપનીએ સ્વિચિંગ પ્રણાલી માં પોતાનું આગવું યોગદાન કરેલું છે, જેથી PDPની કાર્યક્ષમતા, ઝડપ તથા તેની સુચારુ કાર્યપદ્ધતિમાં અનેક સુધારાઓ શક્ય બન્યા છે.

યાત્રા પચાસ વર્ષોની

જે પીડીપી આપણે બજારમાં જોઈએ છીએ તેની પાછળ વર્ષોના સંશોધનો, વિકાસ, તથા ઈલેક્ટ્રોનિક્સ અને ઉત્પાદનની કાર્યપદ્ધતિઓનો હાથ રહેલો છે અહીં એ નોંધવું રસપ્રદ થશે કે PDPની શોધ તો ૧૯૬૪ માં અમેરિકાની ઇલિનોઇસ યુનિવર્સિટી માં વૈજ્ઞાનિકો એ કરેલી. સર્વપ્રથમ PDP તો એક જ રંગવાળી (મોનોક્રોમ) હતી. બહુરંગી PDP પર સંશોધનો ૧૯૮૦ના દશકામાં પૂરજોશમાં ચાલતા હતા અને વ્યાવસાયિક રીતે PDP લગભગમાં ૧૯૯૦ માં ઉપલબ્ધ બન્યા. હવે ૮૦" વિકર્ણની લંબાઇ જેટલા (૨૦૦ cm જેટલાં) મોટા તથા ૩ થી ૪ ઈંચ (૮-૧૦ cm) જેટલી જાડાઇ ધરાવતા PDP પણ સહેલાઈથી મળી શકે છે. ઊર્જાનો વપરાશ ઓછો થાય તે દિશામાં પણ ઘણો વિકાસ સધાયો છે, અને સાથોસાથ PDPની કાર્યક્ષમતા તથા તેનું આયુષ્ય વધારવામાં પણ.

આગામી પડકારો

વિશાળ ફલક (સ્ક્રીન), ચિત્રની ઉત્કૃષ્ટ ગુણવત્તા તથા ૧૬૦° થી મોટા વ્યુઇંગ એંગલ આજના PDPની ખાસિયતો છે. આ PDP એકદમ સપાટ વધુ પડતા અજવાળામાં પણ સારી રીતે કાર્ય કરે છે. હવે ઉત્પાદકો સામે સૌથી મોટો પડકાર એ છે કે, ન્યૂનતમ કિંમતો પર પીડીપી કેવી રીતે વિકસાવવા? ખરી વ્યાવસાયિક સફળતાતો આજ લેખાશે. ગત થોડા વર્ષોમાં PDPની કિંમતો સારા એવા પ્રમાણમાં ઘટી છે. પીડીપીની નવી રચના કે કાર્ય પદ્ધતિમાં સુધારાઓ ઉત્તરોત્તર થતાંજ રહે છે, જેને કારણે તેમની કિંમતો પણ ઘટી રહી છે. એક વાત તો જાણે નિશ્ચિત છે કે એક દિવસ PDP એટલે વિશાળ ફલક પર ચિત્ર જોવાનો એક અતિ મહત્ત્વનો ડિસ્પ્લે હશે.

સંદર્ભ

1. http://www.plasmacoalition.org: a highly resourceful website on plasmas and their applications.
2. Plasma Display panels by Leanne Pitchford in plasmacoalition.org
3. Introduction to plasma Display Panels (PPT) by Ching Wei-Bau in www.ee.buffalo.edu

પ્લાઝમા વડે ધાતુ ને સાંધવી કે કાપવી

પ્લાઝમા જગત ને સાંકળે છે

એવું કહેવાય છે કે પ્લાઝમા આખા જગત ને સાંકળે છે! કદાચ આ વિધાન અતિશયોક્તિ ભરેલું લાગે, પરંતુ તેવું નથી! આજે લગભગ બધી વસ્તુઓ કે માલસામાનના ઉત્પાદનમાં એક ધાતુનું તે જ અથવા અન્ય ધાતુ સાથે જોડાણ કે સંધાણ કરવું પડે છે, અને તમાં આવા જોડાણો તો હજારોની સંખ્યામા હોય છે. મોટરગાડી, વહાણ, રેલગાડી, વિમાન, પાઈપલાઈન, ગરમ પાણીની પ્રણાલીઓ, એટલું જ નહી, પરતુ, કોઈ ઈમારત નો ઢાંચો અને પુલ બનાવવામા પણ ધાતુના અસંખ્ય જોડાણો ની જરૂર પડે છે, અને આ બધાનું જોડાણ (વેલ્ડિંગ) પ્લાઝમાના ઉપયોગ દ્વારા જ કરવામા આવે છે.

મહાવિસ્ફોટ ના સમયથી આપણે પ્લાઝમા દ્વારા ઘેરાયેલા છીએ. સૂર્યનો પ્રકાશ આપણને ક્યાંથી મળે છે? વીજળી અને અરોરા બોરિઆલિસ (ઉત્તરી પ્રકાશ) કેવી રીતે સંભવે છે? અહીં જોવા મળતો પ્રકાશ પ્લાઝમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે. બેંજામીન ફ્રેંક્લિને (૧૭૦૬-૧૭૯૦) સૌ પ્રથમ વીજળી નો અભ્યાસ કર્યો અને એવા નિષ્કર્ષ પર આવ્યા કે વીજળી વીજભારિત કણોથી પેદા થાય છે. આ સમયે તો ઈલેક્ટ્રોન કે આયન જેવા વીજભારિત કણો વિષે કોઈ જાણકારી હતી નહિ! આજે લગભગ અઢી સદી જેટલા સમય પછી આપણે પ્લાઝમાની શક્તિનો ઉપયોગ આપણા લાભ માટે કરવાનું શીખ્યા છીએ. પ્લાઝમા એક ગેસ છે. જેમાં મોટી સંખ્યામાં ધન અને ઋણ વીજભાર ધરાવતા કણો મોજુદ હોય છે. ઊર્જા ને એકત્રિત કરીને તેને કેન્દ્રિત કરવાની ક્ષમતા પ્લાઝમામાં હોય છે.

ધાતુઓ ને સાંધવી

વેલ્ડિંગ એક એવી પ્રક્રિયા છે કે જેમાં બે અલગ-અલગ વસ્તુઓને કે ધાતુઓને પિગાળી, એકજીવ કરી બંનેને સાંધવામાં આવે છે. મુખ્ય ધાતુઓને પીગાળીને, તેની ઉપરાંત કોઈ “ફિલર” ધાતુ પણ ઘણી વાર ઉમેરવામાં આવે છે. આમ કરવાથી બંને ધાતુઓ સાથે પીગળીને તેમનું એક પ્રવાહી મિશ્રણ બને છે. આ મિશ્ર પ્રવાહી ઠંડુ પડતા એક સાંધો કે જોડાણ બને છે, જે મુખ્ય ધાતુ જેટલો જ મજબૂત હોય છે. ક્યારેક ઉષ્ણતા સાથે દબાણ પણ આપવામાં આવે છે. આપણે અહીં એક વાત નોંધીએ કે ‘‘સોલ્ડરિંગ’’ જેવી ઓછા ઉષ્ણતામાને થતી સંધાણની ક્રિયામાં મુખ્ય ધાતુ પીગળતી નથી, છતાં જોડાણ શક્ય બને છે.

બે ધાતુઓના વેલ્ડિંગ માટે ઉપયોગમાં લાવવામાં આવતા ઉષ્ણતા સ્રોતો વિભિન્ન પ્રકારના હોઈ શકે. ગેસ વેલ્ડિંગમાં રાંધણ ગેસ, કુદરતી ગેસ કે એસિટિલિન સાથે ઓક્સિજનને ઉમેરતાં મળતી જ્યોત ઊર્જાના સ્રોત તરીકે કામ કરે છે. ‘‘અવરોધ સંધાણ’’ (રેઝિસ્ટન્સ વેલ્ડિંગ)માં વિદ્યુતપ્રવાહ વહેવાને લીધે ધાતુ તેના આંતરિક અવરોધથી ગરમ થાય છે. આમ ઉત્પન્ન થતી ઉષ્ણતા વેલ્ડિંગ કરવા માટે વપરાય છે. લેસરનો ઉપયોગ પણ વેલ્ડિંગ કરવા માટે થાય છે. “ઈલેક્ટ્રિક આર્ક વેલ્ડિંગ’’ માં ગેસના આયનીકરણ દ્વારા પેદા થતી ‘‘વિદ્યુત ચાપ’’ કે “ઈલેક્ટ્રિક આર્ક” વેલ્ડિંગ માટે વપરાય છે.

ઇલેક્ટ્રિક આર્ક કે વિદ્યુત ચાપ વેલ્ડિંગ

બે ઈલેકટ્રોડ વચ્ચે વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહને લીધે થતા ગેસનું આયનીકરણ વિદ્યુતચાપના સ્વરૂપમાં જોવા મળે છે, જે પ્લાઝમા ડિસ્ચાર્જ છે **(આકૃતિ ૧)**. અવરોધ અને સતત ચાલુ રહેતી વિદ્યુતઆર્કને લીધે ઉચ્ચ પ્રમાણમાં ઉષ્ણતા ઉત્પન્ન થાય છે, જેથી વાયુના અણુઓનું આયનીકરણ થાય છે. આથી ગેસનું રૂપાંતર ઉષ્મીય પ્લાઝમા થાય છે. પ્લાઝમામાં ઈલેક્ટ્રોન સરળતાથી સ્થળાંતર કરી શકે છે. જેથી પ્લાઝમા મોટા પ્રમાણમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરી શકે છે, અને વિદ્યુત ઊર્જા ખૂબ ઓછા વિસ્તારમાં એકત્રિત થઇ શકે છે. આને લીધે જ પ્લાઝમા ધાતુઓ પિગાળવા માટેના ખૂબ સક્ષમ એવા ઉષ્ણતા પેદા કરવા માટેના સ્રોત તરીકે કામ કરી શકે

છે, આમ ઈલેકટ્રિક આર્ક વેલ્ડિંગમા પ્લાઝમા ઉચ્ચ તાપમાન પેદા કરતા ઉષ્ણતા સ્રોત તરીકે કામમાં આવે છે, જેમાં તાપમાન ૬,૦૦૦ °C જેટલું હોય છે, અને ધાતુઓ જોડવા કે કાપવાના ઉપયોગમાં આવે છે.

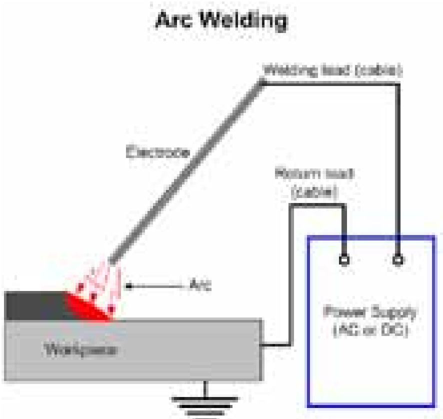
સર્વપ્રથમ માનવસર્જિત પ્લાઝમા સ્થિર વિદ્યુતમાંથી મેળવેલ ''સ્પાર્ક ડિસ્ચાર્જ'' ના બનેલા હતા. ૧૯ મી સદીની શરૂઆતમાં સર હમ્ફ્રી ડેવીએ (૧૭૭૮-૧૮૨૯) સર્વપ્રથમ કૃત્રિમ રીતે શક્તિશાળી પ્લાઝમા પ્રયોગશાળામાં બનાવ્યા હતા. અહીં આપણે નોંધીએ કે ઈલેક્ટ્રિક આર્ક (વિદ્યુત ચાપ) શબ્દ પણ તેમણે જ આપ્યો. આ નામ તેમણે કઇ રીતે પાડ્યું? જે તેજસ્વી પ્રકાશ તેમની પ્રયોગશાળામાં ઉત્પન્ન થયો હતો તે વર્તુળની ચાપ કે ધનુષ્ય આકાર જેવા સ્વરૂપમાં હતો. બે સમક્ષિતિજ ઈલેક્ટ્રોડની વચ્ચે ઉત્પન્ન થતાં વિદ્યુત પ્રવાહને લીધે હવા ગરમ થઇ ઉપર ઊઠવાને લીધે વર્તુળની ચાપનો આકાર (arc) બનતો હતો, અને આમ ''ઈલેક્ટ્રિક આર્ક'' બનતી હતી. આમ છતાં ઈલેક્ટ્રિક આર્કનો ઔદ્યોગિક ઉપયોગ ૧૯મી સદીના અંત સુધી, અર્થાત જ્યાં સુધી વીજળીની ઉપલબ્ધતા ન હતી, ત્યાં સુધી સરળતાથી સંભવ ન બન્યો.

આજે બહોળી માત્રામાં ઉત્પાદન થતું સ્ટીલ

આકૃતિ ૧ : આર્ક વેલ્ડિંગ

ઈલેક્ટ્રિક આર્કની ભઠ્ઠી (ફર્નેસ) માં બનાવવામાં આવે છે. આવી ભઠ્ઠીમાં કેટલી ઊર્જા એકઠી થતી હશે? આવી ભઠ્ઠીમાં એકત્રિત થતી ઊર્જા વડે એક ફૂટબોલ જેવડા ક્ષેત્રમાં વસેલ ૧,૦૦૦ ભારતીય રહેઠાણોને વીજળી પૂરી પાડી શકાય, અથવા ૨૦૦ ટન સ્ટીલને માત્ર અડધા કલાકમાં પિગાળી શકાય. નાના પાયે વાત કરીએ તો આજ પ્રકારની ઈલેક્ટ્રિક આર્ક ધાતુઓના વેલ્ડિંગ કરવા માટે વપરાય છે.

ઈલેક્ટ્રિક આર્ક વેલ્ડિંગ (કે આર્ક વેલ્ડિંગ) માં વિદ્યુત પાવર સપ્લાયના એક છેડે એક ઈલેક્ટ્રોડ જોડેલો હોય છે, અને જે ધાતુનુ વેલ્ડિંગ કરવાનુ હોય છે ત્યા બીજો છેડો જોડેલો હોય છે. ઈલેક્ટ્રોડ વડે ધાતુને સ્પર્શ કરીને વેલ્ડિંગ કરનાર વ્યક્તિ ઈલેક્ટ્રોડને ધાતુથી સહેજ દૂર, એકાદ સેન્ટિમીટરથી પણ ઓછી જગ્યા રહે તે રીતે દૂર લઈ જાય છે. પાવર સપ્લાયના વોલ્ટેજથી આ નાનકડી જગ્યામાંથી વિદ્યુત પ્રવાહ વહે છે. આ વિદ્યુત પ્રવાહ હવાને ગરમ કરે છે અને તેનું રૂપાંતર પ્લાઝમામાં થાય છે (**આકૃતિ ૨**), જેથી અત્યંત તીવ્ર પ્રકાશનું ઉત્સર્જન થાય છે. આજ છે વેલ્ડિંગ આર્ક! આટલા તીવ્ર પ્રકાશથી આંખની સુરક્ષા કરવા માટે વેલ્ડિંગ કરનાર વ્યક્તિએ ''વેલ્ડિંગ હેલ્મેટ'' અવશ્ય પહેરવું જોઈએ. આવુ હેલ્મેટ તીવ્ર ઉત્સર્જિત પ્રકાશનો ખૂબ જ ઓછો હિસ્સો આંખમાં પ્રવેશવા દે છે (**આકૃતિ ૩**).

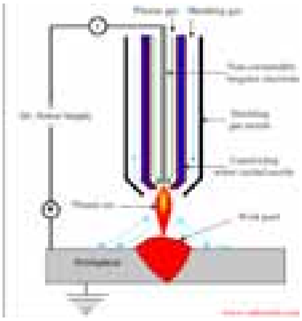


આકૃતિ ૨ : વિદ્યુત પ્રવાહ ઇલેટ્રોડ અને જે ધાતુનું વેલ્ડિંગ કરવાનું હોય છે તેની વચ્ચે વહે છે.

આકૃતિ ૩ : વેલ્ડિંગ હેલ્મેટ તથા જ્યોતનો અવરોધ કરતા કપડા પહેરવાથી વેલ્ડરનું તણખા, ઉષ્ણતા તથા પારજાંબલી કિરણોથી રક્ષણ થાય છે.

પ્લાઝમા આર્ક વેલ્ડિંગ

પ્લાઝમા આર્ક વેલ્ડિંગ ખરેખર તો ઈલેક્ટ્રિક આર્ક વેલ્ડિંગને જ મળતી પ્રક્રિયા છે **(આકૃતિ ૪)**, પરંતુ તેમાં એક વધારાનો વાયુ - નિષ્ક્રિય વાયુ- ઉમેરવામાં આવે છે, જેથી પ્લાઝમા આર્ક મેળવી શકાય છે. પ્રથમ એક વિદ્યુત આર્ક ઉત્પન્ન કરવામાં આવે છે. જે નિષ્ક્રિય વાયુનું આયનીકરણ કરી, પ્લાઝમામાં રૂપાંતર કરે છે. અહી ઉષ્માઊર્જા અને તાપમાન પરંપરાગત આર્ક વેલ્ડિંગ પ્રક્રિયાની તુલના માં ખૂબ જ ઉચ્ચ પ્રમાણમાં ઉત્પન્ન થાય છે. ખૂબ જાડી ધાતુની પ્લેટોનું વેલ્ડિંગ કરવું કે તેમને કાપવી પરંપરાગત વેલ્ડિંગ પ્રક્રિયા દ્વારા ઘણીવાર અશક્ય હોય છે, પરંતુ પ્લાઝમા આર્ક વેલ્ડિંગ દ્વારા સહેલાઈથી તથા ઝડપથી કરી શકાય છે. ખરેખર તો બધી જ વેલ્ડિંગ આર્ક (અંશતઃ આયનીકૃત) પ્લાઝમા હોય છે. પરંતુ પ્લાઝમા આર્ક વેલ્ડિંગ સંકોચાયેલ આર્ક પ્લાઝમા છે.



આકૃતિ ૪ : પ્લાઝમા આર્ક વેલ્ડિંગ

મોટા ભાગની ધાતુઓનું આર્ગોન, હિલિયમ, આર્ગોન સાથે હિલિયમ કે આર્ગોન સાથે હાઇડ્રોજન જેવા નિષ્ક્રિય વાયુઓ અથવા તેમના મિશ્રણથી મળતી પ્લાઝમા આર્ક દ્વારા વેલ્ડિંગ કરી શકાય છે. નિષ્ક્રિય વાયુ તરીકે સામાન્યતઃ આર્ગોનનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આર્ગોન અને હાઇડ્રોજનનું મિશ્રણ એકલા આર્ગોન કરતાં વધુ ઉષ્માઊર્જા આપે છે, અને વધુ તાપમાનની જરૂર પડતી હોય તેવી મિશ્ર ધાતુઓ તથા સ્ટેનલેસ સ્ટીલના વેલ્ડિંગ માટે ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે. ધાતુઓ કાપવા માટે આર્ગોન તથા હાઇડ્રોજનનું મિશ્રણ (૧૦-૩૦ ટકા) અથવા નાઇટ્રોજનનો પણ ઉપયોગ કરી શકાય.

ઉચ્ચ પાવર ધરાવતા વેલ્ડિંગ આર્ક પ્લાઝમામાં બધાજ કણો - ઈલેક્ટ્રોન, ધનવિદ્યુતભારિત આયન તથા તટસ્થ અણુઓ લગભગ સરખા તાપમાને હોય છે, અને પ્લાઝમાનું તાપમાન ૬,૦૦૦ °C કરતા પણ વધુ હોઈ શકે. આ તાપમાન બધી જ ધાતુઓના ગલનબિંદુથી વધારે છે. આવા તીવ્ર પ્લાઝમાના સંપર્કમાં આવતા કોઈપણ પદાર્થ ઓગળી જાય કે બાષ્પીભૂત થઇ જાય. ઈલેક્ટ્રોડના સંપર્કમાં આવતા ધાતુ ઓગળી જાય છે, અને આમ જોડાણ કરવાની ધાતુનું પ્રવાહી ભરેલો એક પૂલ કે ખાડો બને છે, ઈલેક્ટ્રોડની ટોચ પણ પીગળે છે અને આ પ્રવાહી પણ વેલ્ડિંગ માટેની ધાતુના પ્રવાહી સાથે પ્લાઝમા આર્કની આરપાર થઈને ભળે છે, આમ વેલ્ડપૂલનો આકાર પણ મોટો થાય છે. આર્ક દૂર કરતાં વેલ્ડપૂલ ઠંડો પડે છે, અને મજબૂત વેલ્ડ બની જાય છે. ઈલેક્ટ્રોડના પદાર્થને ''ફિલર'' ધાતુ કહેવામાં આવે છે, કારણ કે તે બે ધાતુઓ વચ્ચેની જગ્યા પૂરે છે અને તેમનું વેલ્ડિંગ થાય છે. પૂલ, મકાનો તથા પરિવહન પ્રણાલીઓ બનાવવા માટે દર વર્ષે લાખો ટન જેટલી ફિલર ધાતુ વપરાય છે.

ઈલેક્ટ્રોડની ટોચ પર વિદ્યુત આર્ક પરના વિદ્યુત ચુંબકીય બળો ''પ્લાઝમા જેટ'' કે પ્લાઝમા વિન્ડ'' બનાવે છે, જેનો વેગ દર કલાકે ૮૦૦ કિલોમીટર જેટલો હોય છે. આ પ્લાઝમા જેટનું બળ ગુરૂત્વાકર્ષણબળ કરતા પણ વધુ હોય છે, અને પીગળેલ ધાતુના ટીપાઓને ઈલેક્ટ્રોડની ટોચથી વેલ્ડપૂલ સુધી લઈ જાય છે. આ બળને કારણે આર્ક પણ સખત બને છે, જેથી વેલ્ડર ઉષ્માઊર્જાને ઈલેક્ટ્રોડની દિશા બદલીને યોગ્ય દિશામા, કોઈ પણ ખૂણે, કે ઉપરની દિશામા પણ વાળી શકે છે! આ જેટનો બીજો ફાયદો એ છે કે આજુબાજુની હવા દ્વારા પ્રવાહી ધાતુનું ઓક્સિડેશન થતું પણ અટકે છે, સાથોસાથ જેટ પીગળેલી ધાતુને બાજુ મા ખસેડે છે, તેથી ઊંડે સુધી અને મજબૂત વેલ્ડિંગ થઇ શકે છે. પ્લાઝમા દ્વારા ઉત્પન્ન થતી તીવ્ર ગરમી પ્લાઝમામાં ઉચ્ચ દબાણ પણ પેદા કરે છે, જે ૧૦૦ મીટર પાણીના સ્તંભ જેટલા દબાણનો પ્રતિકાર કરી શકે છે. આથી દરિયાકિનારેથી દૂર આવેલી ઓઇલ રિગ કે જહાજોના સમારકામમાં પણ આર્ક વેલ્ડિંગનો ઉપયોગ થઇ શકે છે.

ધાતુઓને કાપવી

પ્લાઝમા આર્ક પદ્ધતિ કોઈપણ ધાતુ કાપવા માટેની સૌથી ઝડપી તથા આર્થિક રીતે પરવડે તેવી પદ્ધતિ તરીકે પુરવાર થઈ છે **(આકૃતિ ૫)**. કેવી રીતે તે જોઈએ. મોટા ભાગના વેલ્ડિંગ આર્ક પ્લાઝમા ખુલ્લા વાતાવરણમાં કાર્ય કરે છે, પરંતુ સખત અને તીવ્ર પ્લાઝમા આર્કનુ નિર્માણ નાની એવી ''કોપર કેવીટી'' માં હવા કે પાણી દ્વારા તેને ઠંડી કરીને કરી શકાય. પ્લાઝમા આ કોપર કેવીટી માં ગરમ થઈ વિસ્તાર પામે છે, અને એક નાના છિદ્રમાંથી (ખુલ્લા વાતાવરણમાં નિર્મિત પ્લાઝમા કરતાં ઘણા વધારે) વેગથી બહાર પડે છે. ઉચ્ચ વેગ અને વધુ સખત હોવાને લીધે પ્લાઝમાની જેટ ધાતુઓને તો સહેલાઈથી પિગાળે જ છે, પરંતુ પિગળેલી ધાતુને દૂર કરવા માટે પણ સક્ષમ હોય છે. આથી ધાતુને પણ ખૂબ ઝડપથી કાપી શકાય છે. નાઇટ્રોજન પ્લાઝમા વડે ૮ સેન્ટિમિટર જેટલી જાડી ધાતુની તકતીઓ દર મિનિટે ૩૫ સેન્ટિમીટર જેટલી ઝડપથી કાપી શકાય છે. ઓક્સિજન પ્લાઝમાના ઉપયોગ વડે ૧ સેન્ટિમીટર જેટલી જાડી સ્ટીલની તકતી દર મિનિટે ૪ મીટર જેટલી ઝડપથી કાપી શકાય છે! આથી પાતળી ધાતુની તકતીઓ દર મિનિટે ૬ મીટરની ઝડપે પણ કાપી શકાય! આપણે અહીં નોંધ કરીએ કે વધારે ઉત્પાદન ક્ષમતા ધરાવતા એકમોમાં ધાતુ કાપવાની ક્રિયા પાણીમાં કેટલાક સેન્ટિમીટર નીચે કરવામાં આવે છે. આથી ધૂમાડો તથા વરાળ વાતાવરણમાં મુક્ત થતાં અટકાવી શકાય છે. આ રીતે પ્લાઝમા વડે ધાતુ કાપવાની પ્રક્રિયા પર્યાવરણ માટે સૌથી અનુકૂળ પદ્ધતિ છે.

આકૃતિ ૫ : ધાતુને ઝડપથી કાપવામાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ

ધાતુના સાધનો તથા ધાતુનાં માળખાઓમાં પ્લાઝમા વડે ક્રાંતિ

પ્લાઝમા આર્કનો ઉપયોગ બે ધાતુઓને જોડવા માટે કે ધાતુને કાપીને જુદી કરવા માટે પણ થાય છે. આ વિધિને કારણે પૂલ, મકાનો, પાઈપલાઈન, ઊર્જા ઉત્પાદનનાં સંયંત્રો, મોટરગાડી, ટ્રક કે એરોપ્લેન બનાવવા માટેની વિધિમાં ક્રાંતિ આવી છે. આ બધી વસ્તુઓને અને અન્ય ઘણા બધા માળખાઓને આપણે ખૂબ ઝડપથી, સુરક્ષિત રીતે, આર્થિક રીતે પરવડે તેમ, મોટા પાયા પર તથા મોટા આકારમાં પણ બનાવી શકીએ છીએ, જે અન્ય રીતે સંભવ ન થઈ શકે. અલગ અલગ પ્રકારનાં પ્લાઝમા આ રીતે વધુ સક્ષમ રીતે કાર્ય કરીને માનવસર્જિત વિશ્વનું નિર્માણ કરવામાં મોટું યોગદાન આપી રહ્યાં છે.

સંદર્ભ

1. http://www.plasmacoalition.org. a highly resourceful website on plasmas and their applications.
2. http://web.mit.edu/3.37/www/; Plasmas for Welding by Thomas Eagar. The present article draws heavily on this article.
3. H.B. Cary, Modern Welding Technology, 2nd Edition, Prentice Hall, 1989; A.C.
4. R.J. Sacks and E.R. Bohnart, Welding:Principles and Practices, 3d Edition, McGraw Hill, 2005
5. www.plasmaindia.com, Plasma Processing Update,
6. FCIPT (IPR), Newsletter Vol. 69 (2014)

ચિકિત્સા વિજ્ઞાનમાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ

તમે ક્યારેક અનુભવ્યું હશે કે જયારે તમને કંઈ વાગે છે કે ઘા થાય છે ત્યારે લોહી થીજી કે ગંઠાઈને રક્તસ્રાવ બંધ થતાં સારો એવો સમય લાગે છે. પરંતુ શું તમે કલ્પના કરી શકો કે હિલિયમનો શીત વાયુ ઘા પરથી વહે અને લોહી ખૂબ ઝડપથી થીજીને ઘામાંથી રક્તસ્રાવ બંધ થઈ જાય **(આકૃતિ ૧)**? અને ઘા પણ ઝડપથી રૂઝાઈ જાય? આ વાત તમને જરૂર થી વિચિત્ર લાગશે, પરંતું પ્લાઝમા વિજ્ઞાનમાં નિષ્ણાત વૈજ્ઞાનિકો, તેમજ માઈક્રોબાયોલોજી, બાયોકેમિસ્ટ્રી અને ચિકિત્સાવિજ્ઞાનમાં કામ કરતાં સંશોધકો આ જ દિશામાં કાર્ય કરી રહ્યા છે, જો કે તેઓ હિલિયમ વાયુનો સીધેસીધો ઉપયોગ નથી કરતા, પરંતુ પ્લાઝમા અવસ્થામાં રહેલ હિલિયમ વાયુનો ઉપયોગ કરે છે.

આપણે જાણીએ છીએ કે પ્લાઝમા પદાર્થનું ચોથું સ્વરૂપ છે. અન્ય ત્રણ સ્વરૂપો છેઃ ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ. પ્લાઝમા કેવી રીતે ઉત્પન્ન કરી શકાય? જો કોઈ ગેસને ઉષ્ણતા આપવામાં આવે કે ઉચ્ચ વિદ્યુતક્ષેત્રની અસર હેઠળ લાવવામાં આવે તો ગેસમાં ઉપસ્થિત ઈલેક્ટ્રોનમાં ઉચ્ચ ગતિશક્તિ આવિર્ભૂત થાય છે. આ ઈલેક્ટ્રોન ગેસમાંના અણુ તથા પરમાણુઓ સાથે અથડાતા તેમનામાં રહેલ ઈલેક્ટ્રોન મુક્ત થાય છે, અણુ કે પરમાણુમાંથી ઈલેક્ટ્રોન મુક્ત થતા તેઓ આયન બને છે, આ મુક્ત થયેલ ઈલેક્ટ્રોન વિદ્યુતક્ષેત્રનાં બળને લીધે પ્રવેગિત થાય છે. અને અન્ય અણુ તથા પરમાણુઓ સાથે અથડાય છે. આથી વધુ પ્રમાણમાં આયન તથા ઈલેક્ટ્રોન પેદા થાય છે. તટસ્થ અણુ તથા પરમાણુઓ, આયન અને ઈલેક્ટ્રોનનાં આ મિશ્રણને પ્લાઝમા કહે છે. પ્લાઝમા ખુબ ગરમ કે ખુબ ઠંડો પણ હોઈ શકે છે. મહાવિસ્ફોટમાં પદાર્થની ઉત્પત્તિનાં સમયે પદાર્થ ખૂબ ઉષ્ણ તેવા પ્લાઝમા સ્વરૂપ માં હતો. પ્રયોગ શાળામાં સંઘનિત પદાર્થ (કન્ડેન્સ્ડ મેટર) ખૂબ શીત સ્વરૂપમાં રહેલ પ્લાઝમા છે.

આકૃતિ ૧ : ત્વચા સાથે સંપર્ક માં આવતો શીત પ્લાઝમા ત્વચા ને કશું નુકસાન ન કરતા ઘા ને જંતુરહિત કરીને રૂઝાવે છે.

પ્લાઝમા અને જીવંત પેશીઓ

છેલ્લા કેટલાક વર્ષોમાં નીચા ઉષ્ણાતામાને રહેલ પ્લાઝમા પર ઘણા સંશોધનો થઈ રહ્યા છે. જેના પરિણામ સ્વરૂપ આજે પ્લાઝમા સ્વાસ્થ્યની સંભાળ (હેલ્થ કેર)માં પ્રવેશ કરવા માટે સજ્જ છે. વૈજ્ઞાનિકોએ પ્લાઝમાની મદદ થી સારવાર માટેની એવી પદ્ધતિઓ વિકસાવી છે કે જેથી પ્લાઝમાનાં સીધા સંપર્ક વડે જીવંત પેશીઓ માં ઉપસ્થિત અને રોગ ફેલાવતા જીવાણુ (બેક્ટેરિયા, વાયરસ તથા અન્ય સૂક્ષ્મ જીવાણુ)ઓને નિષ્ક્રિય કરી શકાય, રક્તસ્રાવ પેશીઓ ને કશા નુકસાન વગર અટકાવી શકાય, કે ઝડપથી ઘાને પણ રૂઝાવી શકાય. પ્લાઝમા નો સીધો સંપર્ક કર્ક રોગ નાં અમુક પ્રકારના કોષોનો નાશ કરી શકે છે, જેથી કરી ને અસર ગ્રસ્ત કોશોનો તો નાશ થાય છે, પરંતુ તંદુરસ્ત કોષોનો નાશ થતો નથી! પ્લાઝમા આવી વિવિધ સારવાર માં કેવી રીતે મદદરૂપ થાય છે? પ્લાઝમા રાસાયણિક ક્રિયા દ્વારા એવા સક્રિય અણુઓ કે પરમાણુઓ બનાવે છે (દા.ત. હાઈડ્રોક્સિલ OH તથા પરમાણ્વિક ઓકસીજન O) જે નુકસાનકારણ બેકટેરિયાનો તો ઓક્સિડેશન દ્વારા વિનાશ કરે છે, પરંતુ તંદુરસ્ત કોષોનો નહિ! આ ખૂબ મહત્ત્વની વાત છે, કારણ

કે લિપિડ તથા પ્રોટીન જે કોષની આંતરત્વચા (મેમ્બ્રેન) બનાવે છે, તેમનું ઓક્ષિડેશન આંતરત્વચાને પૂર્ણ પણે છિન્ન ભિન્ન કરી શકે છે.

પ્લાઝમાનો ચિકિત્સા વિજ્ઞાનના ઉપકરણો જંતુરહિત કરવામાં ઉપયોગ

વૈજ્ઞાનિકોએ શોધી કાઢ્યું છે કે પ્લાઝમાની ઉપસ્થિતિવાળા વાતાવરણનો સામનો બેક્ટેરિયા નથી કરી શકતા. તેઓના તારણ મુજબ પ્લાઝમાના સંપર્કમાં આવતાં થોડી મિનિટો કે સેકંડ માં જ મોટી સંખ્યા માં બેક્ટેરિયા નો વિનાશ થાય છે. અલબત્ત આ ક્રિયા બેક્ટેરિયાની પ્રજાતિ પર આધાર રાખે છે. પ્લાઝમાનાં આ ગુણધર્મનાં ઉપયોગથી પ્લાઝમા પર આધારિત એવા ઉપકરણોનો વિકાસ થયો છે જે ચિકિત્સા માં વપરાતા સાધનો તથા ઉપકરણો ને કશા પણ નુકસાન વગર જંતુ રહિત બનાવી શકે.

આજે ચિકિત્સાવિજ્ઞાનમાં વપરાતા અનેક સાધનો પોલીમર નાં બનેલા હોય છે, તથા ઉષ્ણતાની તેમના પર માઠી અસર થઈ શકે છે. આથી રોજબરોજ વપરાતી ‘‘ઓટોક્લેવ’’ જેવી પધ્ધતિ નો ઉપયોગ આ સાધનો ને જંતુરહિત બનાવવામાં થઈ ન શકે, કારણ કે તેમાં ઉચ્ચ ઉષ્મા તથા ઉચ્ચ દબાણ પર બાષ્પનો ઉપયોગ થાય છે. રાસાયણિક પ્રક્રિયા કરતા તથા ઓરડાના તાપમાન જેવું તાપમાન ધરાવતા પ્લાઝમા નો ઉપયોગ બેક્ટેરિયા, વાઈરસ, ફૂગ જેવા તથા સર્જિકલ ઉપકરણોની સપાટી પર ઉપસ્થિત રહેતા સૂક્ષ્મ જીવાણુઓનો વિનાશ કરવા માટે થાય છે. ગરમીથી નુક્સાન થાય તેવા પોલીમર નાં સાધનો પણ આ રીતે જંતુ રહિત કરી શકાય છે. આપણે અહી નોંધીએ કે આ પ્રકારનાં પ્લાઝમા વાયુ સ્વરૂપે ગતિ કરી શકે છે, તેમજ સાંકડી જગ્યામાં જ્યાં સહેલાઈ થી પહોંચી ન શકાય તેવી જગ્યામાં પ્રસરિત પણ થઈ શકે છે. ન્યૂનતમ વાઢકાપ દ્વારા થતી શલ્યચિકિત્સામાં વપરાતાં સાધનોને સામાન્યતઃ આ રીતે જ જંતુરહિત કરવામાં આવે છે. વધુમાં શીત પ્લાઝમાના આ વિશિષ્ટ ગુણધર્મોને લીધે અત્યંત ઝડપથી સંક્રમિત થઈને ચેપ ફેલાવતા ‘‘પ્રિયોન’’ (Prion) થી પણ રક્ષણ મળી શકે તેવી સંભાવના છે. પ્રિયોન એક વિકૃત એવું પ્રોટીન છે, જેના દ્વારા ‘‘મેડ કાઉ ડિસીસ’’ જેવો રોગ પશુઓમાં થાય છે, તથા તેવા પશુઓનું માંસ ખાવાથી મનુષ્યોમાં પણ આ રોગનું સંક્રમણ થઈ શકે છે. આજે સામાન્ય પદ્ધતિઓ દ્વારા પ્રિયોનને નષ્ટ કરવું લગભગ અશક્ય છે.

પ્લાઝમા નો એક નોંધપાત્ર ગુણધર્મ

પ્રક્રિયા કરી શકે તેવા પ્લાઝમાનો સંપર્ક પ્રાણીઓ તથા વનસ્પતિની પેશીઓને તદ્દન નજીવું નુકશાન કરે છે, પરંતુ સાથોસાથ બેક્ટેરિયાના કોષોનો વિનાશ તો તે સહેલાઈથી કરી શકે છે. આવું કેમ? આનું કારણ એ છે

આકૃતિ ૨ : પેટ્રીડીશમાં રાખેલા-બેકટેરિયા ૧૨૦ સેકંડ સુધી શીત પ્લાઝમાનાં સંપર્ક માં આવતાં તેમના પર થતી અસર. (ડાબી તરફ હિલિયમ + ૦.૭૫ ટકા O_2, તથા જમણી તરફ માત્ર હિલિયમ). વચ્ચેના કાળા કુંડાળામાં બેકટેરિયાનો નાશ થયેલો છે અને ત્યાં બેકટેરિયાની વૃદ્ધિ થઇ શકતી નથી.

કે, સ્તનધારી પ્રાણીઓના કોષો તથા બેક્ટેરિયા જ્યારે શીત પ્લાઝમાના સંપર્કમાં આવે છે ત્યારે રાસાયણિક તથા ભૌતિક રીતે અલગ અલગ પ્રતિક્રિયા આપે છે. આથી ત્વચાના ફાઈબ્રોબ્લાસ્ટ કોષો (જેમાંથી જોડાણ કરતી, અર્થાત કનેક્ટિવ, પેશીઓનો વિકાસ થાય છે) પર તો પ્લાઝમાની અસર થતી નથી, પરંતુ E-Coli બેક્ટેરિયા માટે પ્લાઝમા ઘાતક પુરવાર થાય છે (આકૃતિ ૨). પ્લાઝમાની આ તાકત (જે બેક્ટેરિયાનો તો વિનાશ કરે છે, પરંતુ પ્રાણી તથા વનસ્પતિના કોષો સુરક્ષિત રાખે છે) તેના વિવિધ ઉપયોગોની ચાવીરૂપ છે - જેમાં સંમીલિત છે ખાદ્ય પ્રદાર્થોને જંતુ રહિત કરવા, ત્વચાને જંતુરહિત કરવી કે શરીરના કોઈ ભાગમાં થયેલ ગાંઠની સારવાર કરવી.

કેન્સરની સારવારમાં જેમ કેમોથેરપીનો ઉપયોગ થાય છે, તેમ શીત પ્લાઝમા પણ કર્કરોગના કોષોને ક્રમિક મૃત્યુ (Apoptosis) માટે પ્રેરિત કરી શકે, અને કર્ક રોગ નાં કોષોની ઝડપી વૃદ્ધિ અટકાવી શકે. સાથો સાથ તંદુરસ્ત માનવીય પેશીઓને નુકશાન પણ ન્યુનતમ થાય. અંતતઃ આ પદ્ધતિની સફળતાનો આધાર તો રહેશે પ્રક્રિયા કરતાં પ્લાઝમાનો શરીરના રોગિષ્ટ ભાગ પર જટિલ તેવી પરિસ્થિતિમાં અસરકારક ઉપયોગ. આશા સેવી શકાય કે શીત પ્લાઝમાનો ઉપયોગ ચિકિત્સાવિજ્ઞાનનાં આજના પડકારોનો ઉકેલ લાવવા માટે ભવિષ્યમાં કરી શકાશે.

થોડી સાવચેતી

પ્લાઝમા નો ઉપયોગ સૂક્ષ્મજીવાણુઓનો નાશ કરતી વખતે થોડી સાવચેતી રાખવી જરૂરી છે. વધારે માત્રામાં પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કરવામાં આવે તો રોગ ઉત્પન્ન કરતાં જીવાણુંઓનો તો નાશ થાય છે, પરંતુ પ્લાઝમાની માત્રા ઓછી થાય તો આ તંદુરસ્ત કોષોની સંખ્યામાં વૃદ્ધિ થઇ શકે છે! આ ગુણધર્મ પ્લાઝમા ઘા રૂઝાવવાની પ્રક્રિયામાં મહત્વનો ભાગ ભજવે છે. અહીં એ નોંધવું જરૂરી છે કે બેક્ટેરિયાનો વિનાશ અને વિશિષ્ટ તંદુરસ્ત કોષોની સંખ્યામાં વૃદ્ધિની પ્લાઝમાની આ ખાસિયત ''પ્લાઝમા કિલ - પ્લાઝમા હીલ'' તરીકે જાણીતી છે. આ ખાસિયતને કારણે જ વૈજ્ઞાનિકો શીત પ્લાઝમાનો ઉપયોગ ઘા રૂઝાવવા માટેના સંશોધનોમાં કરી રહ્યાં છે. જલ્દીથી રૂઝાતા ન હોય તેવા ઘા, જેવા કે મધુપ્રમેહમાં થતા અલ્સર, પરંપરાગત ચિકિત્સાને યોગ્ય તેવો પ્રતિસાદ આપતાં નથી. આજની ચિકિત્સાવિજ્ઞાનની પદ્ધતિઓ આવા પ્રકારના ઘા રૂઝાવી શકતી નથી, અને આથી જ આપણા દેશમાં દર વર્ષે લાખો લોકોના રોગગ્રસ્ત અંગો કાપી નાખવા પડે છે. જો કે પ્લાઝમા પર આધારિત તંત્રજ્ઞાન હજુ સંશોધનના પ્રથમ તબક્કામાં જ છે. તેમ છતાં સહેલાઈથી રૂઝાતા ન હોય તેવા અમુક પ્રકારના ઘા પર પ્લાઝમા ચિકિત્સા દ્વારા થતી સારવારને સફળતા સાંપડી છે.

આકૃતિ ૩ : પ્લાઝમા પ્લાક, દાંતનો સડો તથા પેરિઓડોન્ટિઅમના રોગોનું નિયંત્રણ કરી શકે છે.

દંતચિકિત્સામાં પ્લાઝમા

ચિકિત્સાવિજ્ઞાનમાં પ્લાઝમાનો એક વધુ ઉપયોગ છે દંતચિકિત્સા ક્ષેત્રે, જેમાં શીત પ્લાઝમાની મદદ વડે ઉપચાર શક્ય છે. દાંત પર જમા થતી ''ઓરલ બાયોફિલ્મ'' (જેને સ્લાઈમ પણ કહેવામાં આવે છે) ના નિયંત્રણ માટે પ્લાઝમાંનો ઉપયોગ એક અસરકારક ઉપાય છે. બાયોફિલ્મ એ આયોજનબદ્ધ રીતે ગોઠવાયેલ બેક્ટેરિયાનો ત્રિપરિમાણીય સમૂહ હોય છે. તેમાં સૂક્ષ્મજીવાણુઓ સંદેશાની આપ-લે કરી શકે છે, પોતાની જરૂરિયાતોની વૃદ્ધિ કરી શકે છે; તથા તેમના સમૂહનું સંરક્ષણ પણ કરી શકે છે. દાંત સ્વચ્છ

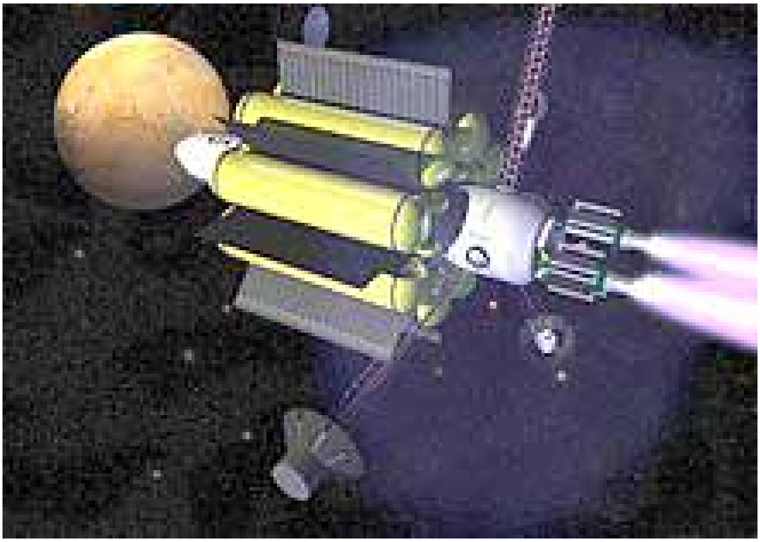
ન કરવાથી દાંત પર થતું પડ (Plaque) પણ ''ઓરલ બાયોફિલ્મ''નું એક ઉદાહરણ છે, જે દાંતના સડાનું પ્રમુખ કારણ છે. તેનાથી પેઢાની પેશીઓ સૂજી જવાના રોગ થાય છે. આ અવસ્થાને ''જીંજીવાઈટિસ'' કહે છે. ઉપરાંત ''પેરિઓડોન્ટાઈટીસ'' અર્થાત્ દાંતને આધાર આપતી પેશી સોજી જવાનો રોગ પણ થઈ શકે છે. પ્રયોગશાળામાં પ્લાઝમા દાંતનો સડો અટકાવવા તથા દાંતને આધાર આપતી પેશી (પેરિઓડોન્ટિઅમ) ના રોગોનું નિયંત્રણ કરવામાં પણ સક્ષમ છે (આકૃતિ - ૩).

એક સંશોધન પ્રમાણે પ્લાઝમાને દાંતના બાહ્ય આવરણ (ઇનેમલ)ની નીચે રહેલ ડેન્ટિન નામની કેલ્શિયમયુક્ત પેશીના સંપર્કમાં લાવતા રોગસંક્રમણનું પ્રમાણ ઘટવા પામ્યું હતું. પ્લાઝમા સૂક્ષ્મ જીવાણુ દ્વારા દાંતના ગર્તમાં રહેલ સંક્રમિત પેશીનો પણ નાશ કરી શકે છે. આમ પ્લાઝમા એક દિવસ દાંતના ડોક્ટરની ડ્રિલ (દાંતમાં છેદ કરવાનું સાધન) ને બદલે ઉપયોગમાં આવી શકશે. આપણે સહુ જાણીએ છીએ કે ડોક્ટરની ડ્રીલનો ડર તો દાંતના બધા જ દર્દીઓને લાગતો હોય છે! એક વાત ચોક્કસ છે કે નજીકના ભવિષ્યમાં ડોક્ટરોના હાથમાં પ્લાઝમા પર આધારિત સાધનો તથા ઉપકરણો નિશ્ચિત રૂપે આવશે જેથી ખૂબ અસરકારક રીતે દર્દીઓને વિના દર્દ રાહત મળી શકશે!

સંદર્ભ

1. http://www.plasmacoalition.org: Plasma Medicine by Mounir Laroussi ; Images: Mounir Laroussi; istockphoto.com
2. M. Laroussi, "Low Temperature Plasmas for Medicine?", IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 37, No. 6, pp. 714-725, 2009
3. M. G. Kong, G. Kroesen, G. Morfill, T. Nosenko, T. Shimizu, J. van Dijk and J. L. Zimmermann, "Plasma Medicine: An Introductory Review", New J. Physics, Vol. 11, 115012, 2009.
4. Gregory Fridman, Gary Friedman, Alexander Gutsol, Anatoly B. Shekhter, Victor N. Vasilets, Alexander Fridman, Applied plasma Processes, Plasma Processes and Polymers Volume 5, Issue 6 (online 16 April 2008)

પ્લાઝમા વડે રોકેટ પ્રક્ષેપણ



આકૃતિ ૧ : પ્લાઝમા રોકેટ દ્વારા આગળ વધતા અને નાભિકીય રિએક્ટર દ્વારા સંચાલિત ભવિષ્યનાં માર્સ મિશનની પ્રતીકાત્મક તસ્વીર.

આજનાં રોકેટની મર્યાદાઓ

આપણામાંથી ઘણાએ અવકાશયાત્રા પર જઈને ચંદ્ર, મંગળ કે અન્ય તારાઓ ની મુલાકાત લેવાનું સપનું બાળપણમાં સેવ્યું હશે. અવકાશયાનો લગભગ બધા જ ગ્રહો ની મુલાકાત લઈ ચુક્યા છે, અને સૂર્યમાળાથી પણ આગળ પ્રવાસ ખેડી ચુક્યા છે. થોડા જ સમય પહેલા ભારતનાં માર્સ ઓર્બિટર મિશને મંગળની ભ્રમણકક્ષામાં પહોંચીને અવનવી માહિતી આપણા સુધી પહોંચાડી છે. આપણે માનવને પણ પૃથ્વીની બહાર અંતરિક્ષમાં મુસાફરી કરાવે તેવા અવકાશયાનોના વિકાસનાં સાક્ષી છીએ. પૃથ્વીની આસપાસ તેની ભ્રમણકક્ષામાં અવકાશી મુસાફરી તો આજે સામાન્ય બાબત બની ગઈ છે. અડધી સદી પહેલા ચંદ્રની ધરતી પર પગ મૂકનાર માનવજાત આજે મંગળની ધરતી પર પણ મૂકવાની તૈયારી કરી રહી છે.

આમ છતાં, આપણી પાસે એવા ઝડપી અવકાશયાનો નથી કે અવકાશમાં દૂર સુધી જઇ શકે. આજની ટેકનોલોજીથી હાલમાં આપણી પાસે ઉપલબ્ધ નાના અને નાજુક અવકાશયાન દ્વારા મંગળની મુલાકાત લેવા માટે પણ ખાસ્સો એવો સમય લાગે! આવી દૂરની યાત્રામાં અવકાશયાત્રીઓને કઇ જાતની મુશ્કેલીઓનો સામનો કરવો પડશે? મંગળ સુધી પહોંચતા છ મહિના જેટલો સમય તો લાગશે જ. પરંતુ શારીરિક અશક્તિ, વજનવિહીનતા અને સતત વિકિરણનો સામનો પણ કરવો પડશે. તેમના શરીર અને મગજને નોંધપાત્ર રીતે સહન કરવું પડશે.

ઉપર વર્ણવેલી મુશ્કેલીઓ તો ખરેખર પ્રવર્તમાન રાસાયણિક રોકેટની મર્યાદાના કારણે છે. પાછલાં કેટલાંક દશકાઓમાં ટેકનોલોજીએ હરણફાળ ભરવા છતાં ઇંધણનો વપરાશ રોકેટમાં એટલા મોટા પ્રમાણમાં થાય છે કે અંતતઃ રોકેટનો એક નાનો ભાગ જ તેના લક્ષ્યસ્થાન સુધી પહોંચી શકે છે. દાખલા તરીકે સ્પેસશટલને પૃથ્વીથી થોડા અંતરે જ આવેલ ભ્રમણકક્ષામાં મૂકવા માટે એક અતિવિશાળ એવી બળતણની ટાંકીની જરૂર પડે છે. ચંદ્ર સુધી પહોંચવા માટે તો તેથી પણ વધારે બળતરની જરૂર પડે! અને સમાનવ એવી મંગળની યાત્રા માટે તો તેથી પણ વધુ!

એક વધુ સારો વિકલ્પ

તો પછી શું વિકલ્પ હોઇ શકે? આ પરિપ્રેક્ષ્યમાં પ્લાઝમા રોકેટ ઝડપી અવકાશયાત્રા માટે તદ્દન નવી તથા રોમાંચક એવી શક્યતાઓ ધરાવે છે. આયનીકરણ પામેલા કણો વાળા રોકેટ એન્જીન જેમાં વીજભારિત કણો વિદ્યુત તથા ચુંબકીય ક્ષેત્રોની મદદથી પ્રવેગિત થાય છે, તેવા એન્જીનના વિકાસ દ્વારા રાસાયણિક ઊર્જા થકી કામ કરતા એન્જીનની મર્યાદાઓનો અંત આવી જશે. વધુમાં, રોકેટ ઇંધણનો પણ વપરાશ ઘણો ઓછો થશે. છેલ્લા ઘણા વર્ષોમાં પ્લાઝમા રોકેટ વિકાસનાં તબક્કામાંથી પસાર થઇ રહ્યાં છે, અને કેટલાક પ્લાઝમા રોકેટ તો અમુક અંશે ઉપયોગમાં પણ આવી રહ્યા છે. પરંતુ આપણે અહીં નોંધવું જોઇએ કે, પ્લાઝમા રોકેટ વિદ્યુતશક્તિની ઉપલબ્ધિ પર આધાર રાખે છે, જે અવકાશમાં આજે પણ મર્યાદિત માત્રામાં જ ઉપલબ્ધ છે. આનું કારણ એ છે અવકાશમાં વિદ્યુત ઉત્પાદન મુખ્યત્વે સૌર પેનલો દ્વારા જ શક્ય છે. આથી જ પ્લાઝમા રોકેટનો વિકાસ નિમ્ન શક્તિ ધરાવતા રોકેટ પૂરતો જ મર્યાદિત રહ્યો. ઓછી માત્રામાં ઊર્જા ઉપલબ્ધ હોય તો લાંબા અંતરની અવકાશયાત્રા કે સમાનવ યાત્રા પ્લાઝમા રોકેટ દ્વારા આજે તો સંભવ નથી. પરંતુ આ સ્થિતિ હવે ઝડપથી બદલાઇ રહી છે. સૌર ટેકનોલોજીમા થયેલ સંશોધનોએ ઉપલબ્ધ વિદ્યુત ઊર્જામાં સારા એવા પ્રમાણમાં વૃદ્ધિ કરી છે અને તેથી શક્તિશાળી પ્લાઝમા રોકેટનો વિકાસ ઝડપથી થઇ રહ્યો છે. વધુમાં સૂર્યથી ઘણો દૂરનો પ્રવાસ ખેડવા માટે નાભિકીય ઊર્જા દ્વારા વિદ્યુત ઊર્જા મેળવીને વધુ શક્તિશાળી પ્લાઝમા રોકેટનો વિકાસ પણ આ દિશામાં એક મહત્વનું પગલું છે. ભવિષ્યમાં પ્લાઝમા રોકેટ અને નાભિકીય ઊર્જા વડે સંચાલિત માર્સમિશનની પ્રતિકાત્મક તસ્વીર આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.

રોકેટ કેવી રીતે આગળ વધે છે?

રોકેટ કેવી રીતે આગળ વધે છે? આપણે સૌ જાણીએ છીએ કે ન્યુટનના ગતિના ત્રીજા નિયમ અનુસાર (અર્થાત્ આઘાત અને પ્રત્યાઘાત સરખા પરંતુ વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે) આગળ વધે છે. રોકેટ પોતાની ગતિથી વિરૂદ્ધ દિશામાં ઈંધણનાં દહન દ્વારા ઉત્પન્ન થતાં ગેસને તીવ્ર ઝડપે બહાર ફેંકે છે. આથી રોકેટને બહાર નીકળતા ગેસ ની વિરુદ્ધ દિશામાં બળ મળે છે. રાસાયણિક ક્રિયામાં ઉત્પન્ન થતી ગરમી વડે ગેસ બહાર ઝડપથી પ્રક્ષેપિત થાય છે અને રોકેટને આગળની દિશામાં વેગ મળે છે. ઉષ્ણતાથી દહન ચેમ્બરમાં દબાણ પેદા થતાં ગરમ ગેસનો રોકેટના નોઝલમાંથી બહાર ખૂબ વેગથી નિકાસ થાય છે. કોઇ એક ચોક્કસ મૂલ્યનો ધક્કો રોકેટને આપણે બે રીતે આપી શકીએ. ઓછી ઝડપે વધારે દ્રવ્ય (ગેસ) રોકેટમાંથી પ્રક્ષેપિત કરીને કે વધુ ઝડપે ઓછું દ્રવ્ય (ગેસ) નોઝલમાંથી પ્રક્ષેપિત કરીને. પરંતુ એક વાત ધ્યાનમાં રાખવી જોઇએ કે ઈંધણ તો આપણે રોકેટમાં જ લઇ જવું પડે. આથી સામાન્યતઃ બીજી પદ્ધતિ કે જેમાં વધુ ઝડપે ઓછું દ્રવ્ય (ગેસ) બહાર પ્રક્ષેપિત થાય, તેજ પસંદ કરવામાં આવે છે. ન્યૂનતમ ઈંધણ લઇ જવા માટે મહત્તમ વેગથી ગેસ પ્રક્ષેપિત થવો જોઇએ. આવી પ્રક્ષેપિત ગેસની ઝડપ આજના રાસાયણિક રોકેટ માટે સંભવ નથી, પરંતુ પ્લાઝમાના ઉપયોગથી શક્ય બને. પ્લાઝમાનો ઉપયોગ થતાં પ્રક્ષેપિત ગેસમાં આયનીકરણ થયેલા વીજભારિત કણો હોય છે.

પ્લાઝમા રોકેટ

ફ્લોરેસન્ટ ટ્યુબ લાઇટમાં પ્લાઝમાનું તાપમાન ૧૨,૦૦૦ °C જેટલું હોય છે. આવા ઉષ્ણ પ્લાઝમાંના કણોની ઝડપ દર સેકંડે ૩૦૦ km જેટલી હોય છે. પરંતુ આજે પ્રયોગશાળામા આનાથી હજારો ગણો ઉષ્ણ, અર્થાત્ ઊર્જા ધરાવતો પ્લાઝમા મેળવી શકાય છે. આવું તાપમાન સૂર્યના અંતર્ભાગ માં પણ હોય છે. આટલા તાપમાને કોઈ પણ પદાર્થ પ્લાઝમા નાં સંપર્કમાં આવતા ટકી ન શકે. પરંતુ વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર પ્લાઝમા પર થાય છે. એક એવી ચુંબકીય ચેનલ બનાવી શકાય જેથી કરીને પ્લાઝમા તો આવા ઉચ્ચ ઉષ્ણ તાપમાને ગરમ થઈ શકે પરંતુ ક્યારે પણ સાધન કે

પાત્રની દિવાલને સ્પર્શે નહીં!

પરંતુ મંગળથી આગળ મુસાફરી કરવા માટે આપણે કેવી રીતે ઊર્જા મેળવીશું? જેમ વધુ ઝડપથી તથા વધારે પ્રમાણમાં ગેસ પ્રક્ષેપિત થાય તેમ ઊર્જાની જરૂરિયાત પણ ઝડપથી વધે છે. સૌર શક્તિ વડે રોબોટની મદદથી કાર્ય કરતાં અવકાશયાન માટે તો સૌર ઊર્જા વડે કામ ચાલી જાય છે, પરંતુ સમાનવ યાન માટે આ ઊર્જા પૂરતી નથી, અને નાભિકીય ઊર્જા સિવાય બીજો કોઇ વિકલ્પ અત્યારે તો સંભવ નથી. મંગળથી આગળ મુસાફરી કરવા માટે તો આ હકીકત સત્ય છે, કારણ આટલે દૂર સૌર ઊર્જાની તીવ્રતા ખૂબ જ ઓછી થઇ જાય છે .

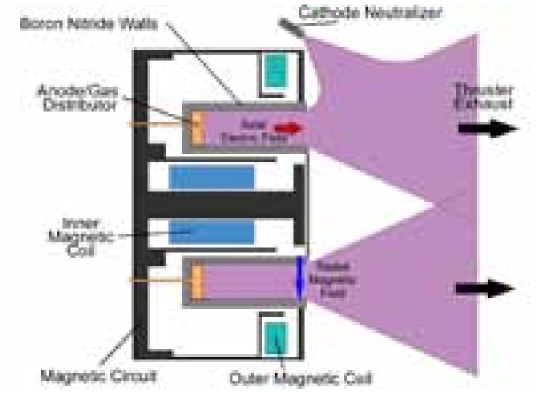
આકૃતિ ૨ : પ્રારંભિક પ્લાઝમા રોકેટ એન્જિન (Lewis Research Center in Cleveland, Ohio in 1961)

પ્લાઝમા રોકેટ એન્જિન

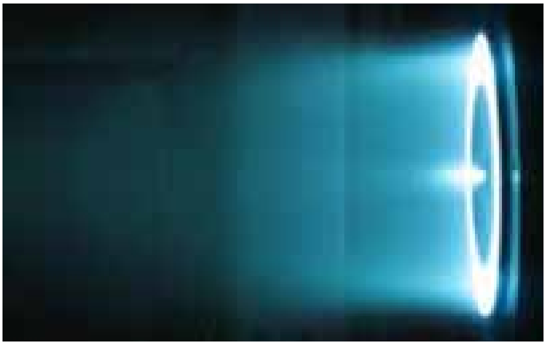
ઓછી શક્તિવાળા પ્લાઝમા એન્જીન તો આજે ઉપયોગ માં આવી રહ્યા છે. એક પ્રારંભિક પ્લાઝમા રોકેટ એન્જીન આકૃતિ ૨ માં દર્શાવેલ છે. સૌથી જૂની અને જાણીતી એન્જીનની ટેકનોલોજી "આયન એન્જીન" ની છે. આ પધ્ધતિમાં આયનો ઓછા તાપમાને તથા ઓછી ઘનતા એ ધાતુની જાળી માંથી બહાર લાવવામાં આવે છે અને તેમને પ્રવેગિત કરવામાં આવે છે. આયન ની જેટ એક ઈલેક્ટ્રોન ગનમાંથી ઈલેક્ટ્રોનનો મારો કરીને રોકેટની નોઝલમાંથી બહાર નીકળતી વખતે તટસ્થ કરવામાં આવે છે. આમ ન કરવામાં આવે તો અવકાશયાન ઉપર ઋણ વિદ્યુતભાર જમા થઈ જાય અને ધન વિદ્યુતભાર ધરાવતા આયનો પાછા અંદર ધકેલાય. આયન એન્જીન ઝેનોન જેવા ઈંધણ ની મદદથી પ્રતિ સેકન્ડે ૭૦ કિલોમીટર જેટલી ઝડપ પેદા કરી શકે છે.

આયન એન્જીનનું અન્ય રૂપ એટલે હોલ ઈફેક્ટ થી ચાલતું એન્જીન, જેમાં તીવ્ર પરંતુ સ્થિર ચુંબકીય ક્ષેત્ર વિદ્યુત ક્ષેત્ર ને લંબ હોય છે. આ વિદ્યુત ક્ષેત્ર ઉપરવાસ માં રહેલ એનોડ તથા નીચેની તરફ અવસ્થિત આભાસી કેથોડ (જેને ન્યુટ્રલાઈઝર પણ કહેવામાં આવે છે) દ્વારા ઉત્પન્ન કરવામાં આવે છે. આ કેથોડની આસપાસ ઈલેક્ટ્રોનની ઘનતા વધુ હોય છે, તથા રોકેટમાં જ્યાંથી ગેસનું બહિર્ગમન થાય છે ત્યાં અવસ્થિત હોય છે **(આકૃતિ ૩)**. આ આભાસી કેથોડ એનોડની નજીક અવસ્થિત થ્રસ્ટર માં ઉત્પન્ન થતાં આયનો ને આકર્ષિત કરે છે અને પ્રવેગિત આયન બીમનું ન્યુટ્રલાઈઝર દ્વારા ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રોન તટસ્થીકરણ કરે છે. આ ટેકનીક દ્વારા રોકેટને ઘસારો તથા ઉચ્ચ તાપમાનથી વિવિધ ભાગો ને થતું નુકસાન અટકાવી શકાય છે.

પ્લાઝમાના સંપર્કમાં આવતા ભાગો પર પ્લાઝમાના કણોનો સતત થતો મારો તે પ્લાઝમા રોકેટ એન્જીનીયરીંગમાં મોટી સમસ્યા છે. આયન તથા હોલ થ્રસ્ટર પર કાર્ય કરતાં રોકેટ એન્જીનો માં પ્લાઝમાની ઘનતા સામાન્યતઃ પ્રાયોગિક મર્યાદાને કારણે ઓછી હોય છે. આ કારણ થી તેમની તાકાત પણ ઓછી હોય છે. આનો અર્થ એમ થયો કે વધુ શક્તિશાળી એન્જીન બનાવવા માટે એન્જીનનો આકાર પણ મોટો હોવો જરૂરી છે. ઓછી શક્તિવાળા હોલ થ્રસ્ટરનો હાલમાં



આકૃતિ 3 : હોલ થ્રસ્ટર મોટે ભાગે અક્ષ ને સમરૂપ અને સમમિત હોય છે. અહી અક્ષની સાથેનો આડછેદ દર્શાવવામાં આવેલ છે.



આકૃતિ ૪ : નાસાની જેટ પ્રોપલ્શન લેબોરેટરીમાં ૬ kW હોલ થ્રસ્ટરની ચકાસણી

ઉપયોગ વ્યાવસાયિક સેટેલાઈટને કક્ષામાં તેની સ્થિતિ જાળવવા માટે થાય છે (**આકૃતિ ૪**).

રોકેટને ગતિમાં રાખવા માટે પ્રાથમિક કક્ષાએ વૈકલ્પિક તેવી ઉચ્ચ શક્તિશાળી તથા રેડિયો તરંગથી સંચાલિત પ્રણાલીઓનો વિકાસ કરવા માટે હાલમાં સંશોધન ચાલી રહ્યું છે. VASIMR આ પ્રકારની જ એક સંકલ્પના છે. આ પ્રકારનાં એન્જીન મર્યાદિત તથા ખર્ચાળ ઝેનોન જેવા બળતણ પર આધાર રાખતાં નથી, અને જુદા જુદા અન્ય ગેસથી કામ કરી શકે છે. આવા એન્જીનમાં આયનો ને ચુંબકીય ક્ષેત્ર દ્વારા નિયંત્રિત કરી તથા નોઝલમાંથી બહાર પ્રક્ષેપિત કરી પ્રવેગિત કરવામાં આવે છે. VASIMR રેડિયો તરંગો ઈંધણનું આયનીકરણ કરી તેનું પ્લાઝમામાં રૂપાંતર કરે છે. ત્યાર બાદ ચુંબકીય ક્ષેત્ર દ્વારા પ્લાઝમાને પ્રવેગિત કરી રોકેટ એન્જીનની બહાર પ્રક્ષેપિત કરે છે. આથી રોકેટ ને આગળ વધવા માટે ઊર્જા પ્રાપ્ત થાય છે. વિવિધ રચનાવાળા થ્રસ્ટરનો હાલમાં વિકાસ થઈ રહ્યો છે, જો કે દરેક એન્જીનનાં લાભાલાભ હોય છે. આવા એન્જીનનો ઉપયોગ કરવા માટે સઘન સંશોધન ચાલી રહ્યું છે.

અન્ય જે પ્રણાલીઓનો વિકાસ થઈ રહ્યો છે તેમાં મહત્ત્વની છે મેગ્નેટોપ્લાઝમા ડાઈનેમિક થ્રસ્ટર (MPD), જે લોરેન્ટ્ઝ બળ નાં પ્રયોગ દ્વારા થ્રસ્ટ પેદા કરે છે. આ બળ ચુંબકીય ક્ષેત્ર અને વિદ્યુત પ્રવાહની પારસ્પરિક અસર ને કારણે પેદા થાય છે.

પ્લાઝમા રોકેટ એન્જીનઃ આવતી કાલનું સ્વપ્ન

પ્લાઝમા એન્જીનનાં ઉપયોગ દ્વારા લાંબા અંતરનાં આંતરગ્રહીય પ્રવાસ સંભવ બને તેવી પૂર્ણ શક્યતા રહેલી છે. વધુમાં પ્લાઝમા રોકેટ અનેક રીતે ઉપયોગી પુરવાર થઈ શકે, દા.ત. ઓછી શક્તિવાળા પ્લાઝમા રોકેટ સેટેલાઈટ કે સ્પેસસ્ટેશનને ચોક્કસ ભ્રમણકક્ષામાં રાખવા માટે ઉપયોગી નીવડી શકે. કોઈ લઘુગ્રહ કે એસ્ટેરોઇડ પૃથ્વી સાથે અથડામણ થાય તેવી કક્ષામાં આવે તો તેની પર આઘાત કરીને અન્ય કક્ષામાં પણ હડસેલી શકે. સુદૂર ભવિષ્યમાં સંલયન સંચાલિત પ્લાઝમા રોકેટ પણ આપણી પૃથ્વીથી ખૂબ દૂરનાં પ્રવાસ પર આપણને લઈ જઈ શકશે, જેના થકી આપણે માનવજાતનાં અસ્તિત્વને પણ ભવિષ્યમાં સુનિશ્ચિત કરી શકીશું.

સંદર્ભ

1. http://www.plasmacoalition.org: Plasma Propulsion for Space Flight
2. by Franklin Chang Diaz
3. F R Chang Diaz Plasma Propulsion for Interplanetary Flight,
4. Thin Solid Films Vol 506-507 (May 26, 2006) 449-453
5. Eric J Lerner, Plasma Propulsion in Space, The Industrial Physicist (October 2000): 16-19
6. en.wikipedia.org/wiki/Plasma_propulsion_engine

પ્લાઝમાથી પર્યાવરણની સ્વચ્છતા

સ્વચ્છ પર્યાવરણ : એક મોટો પડકાર

પ્રાકૃતિક સંસાધનોની જાળવણી એ આજ નો એક સૌથી મોટો પડકાર બની ગયો છે. પાણી, હવા અને જમીન એ આવશ્યક સંસાધનો છે, જેના પર જીવન આધાર રાખે છે. આ સંસાધનો પર ઔદ્યોગિક કચરો તથા પ્રદૂષણને લીધે ગંભીર અસર થયેલ છે. પરિણામે દરેક પળે આપણા પર્યાવરણની ગુણવત્તા જાળવવી તે એક સળગતી સમસ્યા બની ગઈ છે. કારખાનાઓ અને વાહનોમાંથી ઉત્સર્જિત થતાં ગ્રીન હાઉસ વાયુઓની અસર ઘટાડવા, અને ગ્લોબલ વોર્મિંગની સમસ્યાને કારણે આખા જગતમાં વૈજ્ઞાનિકો પર્યાવરણની ગુણવત્તા સુધારવા નવા ઉપાયો વિકસાવી રહ્યા છે. આમાનો એક ઉપાય છે પ્લાઝમાનો પર્યાવરણની સ્વચ્છતા માટેનો ઉપયોગ.

હવે પ્લાઝમા વિષે કશુંક! ઘન, પ્રવાહી તથા વાયુઓ પર કોઈ વીજભાર હોતો નથી, પરંતુ પ્લાઝમામાં મુક્ત રીતે ગતિ કરતા આયન (ધન વિદ્યુતભાર ધરાવતા અણુ કે પરમાણુ) તથા ઈલેક્ટ્રોન હોય છે (જેમના પર ઋણ વિદ્યુતભાર હોય છે). પ્લાઝમા વડે પ્રદૂષકો પર્યાવરણીય રીતે સુરક્ષિત એવા પદાર્થમાં ફેરવી શકાય છે. આ પરિવર્તન ગરમી આપવાથી કે સામાન્ય વાયુઓમાં અનુપસ્થિત તેવા કણો સાથે આંતરક્રિયા કરાવવાથી શક્ય બને છે.

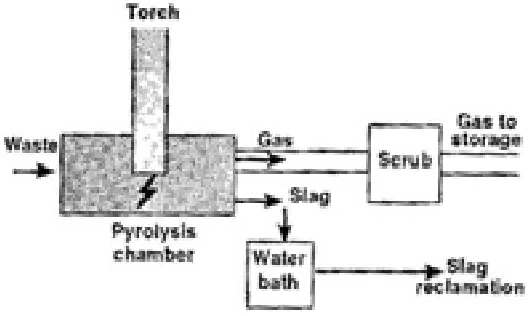
પ્લાઝમા દ્વારા પ્રદૂષકોનું પ્રોસેસીંગ

પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કરીને પ્રદૂષકોનું પ્રોસેસીંગ અસરકારક રીતે કેવી રીતે થઇ શકે? આવી પ્રક્રિયાઓમાં સામાન્યતઃ પ્લાઝમા વાતાવરણના દબાણે હોય છે, જો કે પ્લાઝમા માટે તો આ કંઇ ઓછું દબાણ નથી! આ વિધાનનો ભાવાર્થ એ છે કે મોટે ભાગે પ્લાઝમા વિવિધ ઉપયોગોમાં, જેમ કે સંલયન ઊર્જાના ઉત્પાદનમા કે કોમ્પ્યુટર ચિપના ઉત્પાદનમાં ખૂબ જ ઓછા દબાણે હોય છે, લગભગ શૂન્યાવકાશ સમીપ! કુદરતી રીતે થતી વીજળીના ચમકારા જેવી, વાતાવરણના દબાણે અનુભવાતી પ્લાઝમા ઘટનાનો વિચાર કરીએ તો ખ્યાલ આવે કે માનવસર્જિત પ્લાઝમાનું નિયંત્રણ વાતાવરણના દબાણે કેટલું મુશ્કેલ હોઈ શકે! પરંતુ સ્વચ્છ પર્યાવરણના લક્ષ્ય માટે આ સમસ્યાનો ઉકેલ તો આપણે લાવવો જ રહ્યો! જ્યારે ‘‘ઉષ્મીય સ્થિતિ’’ (થર્મલ મોડ) માં પ્રક્રિયા કરવામાં આવે ત્યારે પ્લાઝમાના કણો (ઈલેક્ટ્રોન, આયન કે તટસ્થ કણો) એક સરખા ગરમ થાય છે. પ્લાઝમામાં વીજભારિત તથા તટસ્થ કણોનું તાપમાન પરંપરાગત સંપૂર્ણ દહન કરતી ભઠ્ઠીઓમાં હોય છે તેનાથી ઘણું વધારે હોય છે, અને આથી આવા પ્લાઝમાના કણો કચરાનું દહન વધારે સક્ષમ રીતે કરી શકે છે.

પરંપરાગત પૂર્ણદહન ભઠ્ઠીમાં કચરાનું દહન કરવા માટે વધારે હવાની જરૂર પડે છે, જ્યારે ઉચ્ચ તાપમાને રહેલ પ્લાઝમામાં અત્યંત અલ્પ માત્રામાં ગેસના પ્રવાહની જરૂર પડે છે, કારણ કે તેમાં હવા કે ઓક્સિજનની ઉચ્ચ તાપમાન મેળવવા માટે જરૂર પડતી નથી. પરિણામે નગરપાલિકાઓના કે હોસ્પિટલના ખતરનાક કાર્બનિક / જૈવિક કચરાઓનું સક્ષમ રીતે પૂર્ણ દહન કરવા માટે પ્લાઝમા ભઠ્ઠીઓનો ઉપયોગ થઇ શકે. આ ક્રિયામાં દહન દરમિયાન નીકળતાં ગેસ ખૂબ ઓછા પ્રમાણમાં હોય છે. બીજો એક ફાયદો એ છે કે પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કરવાથી ખૂબ મોંઘા એવા ગેસ ફિલ્ટર (જેને સ્ક્રબર કહેવામાં આવે છે)ની જરૂર ઓછી પડે છે. આવા ગેસ ફિલ્ટર વાતાવરણમાં ભઠ્ઠી દ્વારા ઠલવાતા પ્રદૂષકોની માત્રા ઓછી કરે છે. સૌથી અગત્યની બાબત તો એ છે કે પ્લાઝમા પ્રક્રિયાથી ‘‘રાખ’’ ઉત્પન્ન થતી નથી, જે પારંપરિક નગરપાલિકા કે હોસ્પિટલની પૂર્ણદહન ભઠ્ઠીમાં પેદા થાય છે અને હાનિકારક છે. પ્લાઝમાની જ્યોત ભઠ્ઠીમાં આ રાખને બદલે અનાવશ્યક પદાર્થનું રૂપાંતર કાચ જેવા પદાર્થમાં કરે છે, તથા પીગળેલી ધાતુને અલગ કરે છે જેનો ફરીથી

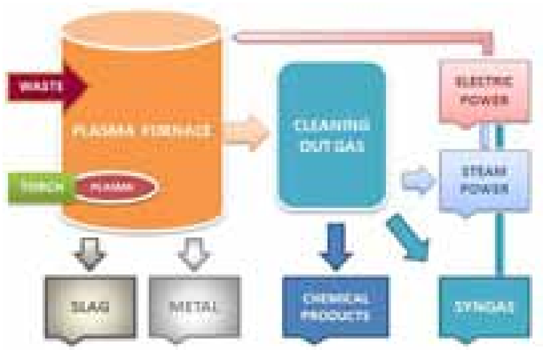
ઉપયોગ કરી શકાય છે. સ્થાયી કાચ જેવા પદાર્થનો ઉપયોગ જમીનના ખાડા ભરવા માટે કરી શકાય, કારણ કે તેનું જમીનમાં અનુસ્રવણ થતું નથી અને આથી પર્યાવરણને નુકશાન થતું નથી.

પ્લાઝમા પાઇરોલિસિસ



આકૃતિ ૧ : પ્લાઝમા પાઇરોલિસિસ (Source: cO3.apogee.net)

''પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસ''ની પદ્ધતિ દ્વારા **(આકૃતિ ૧)** પ્લાઝમા ભઠ્ઠીનો ઉપયોગ ભારત સાથે અન્ય ઘણા દેશોમાં જૂદા જૂદા પ્રકારના કચરાનો નિકાલ કરવા માટે થાય છે, જેમ કે હોસ્પિટલનો કચરો, કાર્બનિક / જૈવિક કચરો, રબર ઉત્પાદનોના કચરા, તથા પ્લાસ્ટિકના ઉત્પાદનો અને પેટ્રોલિયમ પેદાશોના અવશેષો. પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસની પ્રક્રિયામાં ઉત્પન્ન થતી ગરમી તેમાં વપરાતાં પદાર્થોના રાસાયણિક ગુણધર્મો પર આધાર રાખતી નથી. પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસ ભઠ્ઠીમાં ફક્ત એકાદ મિલિસેકન્ડમાં જ તાપમાન ૫,૦૦૦ °C જેટલું મેળવી શકાય છે. આથી કચરાનો નિકાલ પણ ઝડપથી થાય છે અને ગેસનો વપરાશ પણ પ્રકિયામાં ખૂબ ઓછો થાય છે. હોસ્પિટલના કચરાનો નિકાલ કરતી પ્લાઝમા ભઠ્ઠીમાં ઉચ્ચ માત્રામાં પારજાંબલી કિરણો રોગ પેદા કરતાં જીવાણુઓને નષ્ટ કરે છે. ઉત્પન્ન થતો કચરો ઘન કે પ્રવાહી સ્વરૂપમાં હોઈ શકે, જેનો નિકાલ કરવો આવશ્યક છે. કાર્બન મોનોકસાઇડ અને હાઇડ્રોજન ના રૂપમાં ઊર્જા પણ મેળવી શકાય છે. પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન, ગાંધીનગર,ના FCIPT એકમમાં પ્લાઝમા ટેકનોલોજીનો ઉપયોગ કરીને વિવિધ પ્રકારના કચરાનો



આકૃતિ ૨ : પ્લાઝમા વાયુકરણ (ગેસીફિકેશન)
(Source:www.httcanada.com)

નિકાલ કરવા માટે પ્લાઝમા પાઈરોલાઈઝરનો વિકાસ કરવામાં આવેલ છે.

વાયુકરણ (ગેસીફિકેશન) ની પ્રક્રિયા દરમિયાન **(આકૃતિ ૨)** પદાર્થ પર થોડો ઓક્સિજન છોડવામાં આવે છે, પરંતુ એટલી અલ્પ માત્રામાં કે જેથી દહન શરૂ ન થાય. વાયુકરણ પ્રક્રિયામાં ઉષ્ણતામાન ૭૫૦ °C જેટલું હોય છે. ઘણી પ્રણાલીઓમાં પાઈરોલિસિસ પછી દ્વિતીય તબક્કો વાયુકરણનો હોય છે. આને લીધે કચરામાંથી ઊર્જા પેદા કરી શકે તેવા ગેસ વધુ પ્રમાણમાં છૂટા પડે છે. વાયુકરણ તથા પાઈરોલિસિસની પ્રક્રિયાનું મુખ્ય ઉત્પાદન છે સિનગેસ (Syngas અથવા synthetic gas), જેમાં મુખ્યત્વે કાર્બન મોનોક્સાઈડ અને હાઈડ્રોજન હોય છે (૮૫ ટકા); અને અલ્પ માત્રામાં હોય છે કાર્બન ડાયોક્સાઈડ, નાઈટ્રોજન, મિથેન અને અન્ય હાઈડ્રોકાર્બન વાયુઓ. સિનગેસનો ઉપયોગ વરાળ કે વીજળી પેદા કરવા માટે થઈ શકે છે અને પેટ્રોરસાયણ તથા શુદ્ધિકરણ (refining) જેવા ઉદ્યોગોમાં તેનો ઉપયોગ રાસાયણિક કાચા માલ તરીકે થાય છે. સિનગેસનું ઉષ્મીય મૂલ્ય વાયુકરણ ભઠ્ઠીમાં ઉપયોગમાં લેવાતા કચરાના પ્રકાર પર આધાર રાખે છે.

પ્લાઝમાથી પર્યાવરણની દેખરેખ

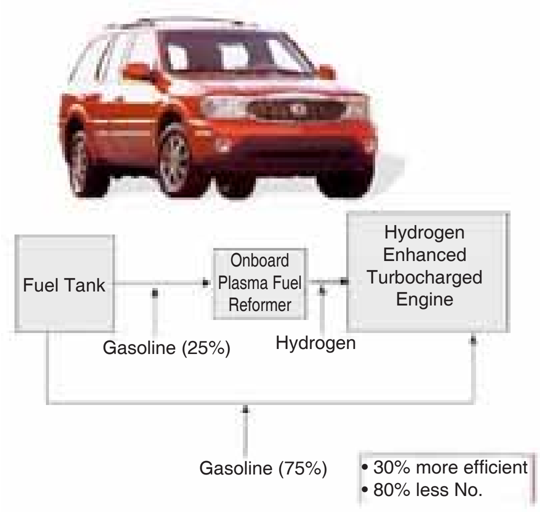
ઉષ્મીય અને બિનઉષ્મીય પ્લાઝમાનો ઉપયોગ કરીને હવા અને ધૂમાડાથી થતાં પર્યાવરણનાં પ્રદૂષણની દેખરેખ ખૂબ અસરકારક રીતે કરી શકાય છે

(**આકૃતિ ૩**). પ્લાઝ્માથી ધૂમાડાનાં ઢગમાં અલ્પમાત્રામાં રહેલા વિવિધ તત્વોનાં અણુઓ કે પરમાણુઓ ઉત્તેજિત થાય છે અને વિશિષ્ટ તરંગ લંબાઈમાં પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે. સ્પેક્ટ્રો મીટર વડે આ તત્વો ઓળખી શકાય છે અને આમ પ્રદૂષણની માત્રા જાણી શકાય છે. આવા પ્રદૂષણ માપકો દ્વારા એક અબજ માં એક ભાગ જેટલી ચોકસાઈથી સીસું, ક્રોમિયમ,બેરીલીયમ, પારો તથા અન્ય પ્રદૂષકોને ઓળખી શકાય છે. આમ હવાના પ્રદૂષણ પર વધુ સારી રીતે દેખરેખ અને નિયંત્રણ રાખી શકાય છે.

આકૃતિ 3 : ધુમાડાને નિયંત્રિત તથા સ્વચ્છ કરવા માટે પ્લાઝ્માનો ઉપયોગ થઇ શકે છે.

વાહનો દ્વારા થતાં પ્રદૂષણ પર નિયંત્રણ

પ્લાઝ્માનો ઉપયોગ કરીને પારંપરિક અશ્મિભૂત ઈંધણને તેનું દહન થાય તે પહેલાજ તેને સમૃદ્ધ કરી પર્યાવરણનું થતું પ્રદૂષણ ઘટાડી શકાય છે. પ્લાઝ્મા દ્વારા પારંપરિક બળતણને દહન પહેલા તેના ઘટકોમાં વિભાજીત કરી શકાય, જેથી તેનું દહન થતાં પ્રદૂષણ ઓછું થાય (**આકૃતિ ૪**). આવું નાના આકારનું એક સાધન (જેને પ્લાઝ્માટ્રોન કહેવાય છે) વિકસાવવાનું કાર્ય આગળ ધપી રહ્યું છે. આ સાધનમાં ઉચ્ચ વોલ્ટેજ



આકૃતિ ૪ : પ્લાઝ્મા દ્વારા હાઇડ્રોજનની વૃદ્ધિ કરતા તથા ઉચ્ચ કાર્યક્ષમતા ધરાવતા મોટરકારનું ભાવી એન્જીન
(Source: www.windsofchange.com)

ઉષ્મીય પ્લાઝ્મા-દ્વારા જટિલ કાર્બનિક અણુઓમાંથી હાઈડ્રોજનનાં પરમાણુઓ છુટા પાડે છે. આ સાધન ની મદદ વડે હાઈડ્રોકાર્બન (જેમ કે પેટ્રોલ)નું રૂપાંતર હાઈડ્રોજન કે સિનગેસ જેવા સ્વચ્છ ઈંધણમાં થાય છે.

જમીન પ્રદૂષણનું નિયંત્રણ

પ્લાઝ્માનાં ઉપયોગ દ્વારા જમીનનું થતું પ્રદૂષણ પણ નિયંત્રિત કરી શકાય. ઉચ્ચ તાપમાને પ્લાઝ્મા ઘન કચરાનું તથા જમીન માં થતાં રાસાયણિક રિસાવ અને ઝેરી સંયોજનોનું રૂપાંતર સલામત સ્વરૂપમાં કરી શકે છે. આ દિશામાં જગતમાં ઘણી જગ્યાએ સંશોધન ચાલી રહ્યું છે.

જળ પ્રદૂષણનું નિયંત્રણ

ઓછા દબાણવાળા પ્લાઝ્મા વિપુલ માત્રામાં પારજાંબલી કિરણો, એક્સ-રે, અથવા ઈલેક્ટ્રોન બીમનું વાતાવરણમાં ઉત્સર્જન કરે છે. આવા પ્લાઝ્માનો ઉપયોગ જરૂરીયાત પ્રમાણે પર્યાવરણનું રક્ષણ કરવા માટે થઇ શકે છે, દા.ત. તીવ્ર પારજાંબલી

વિકિરણ પાણીમાં રહેલ સૂક્ષ્મ જીવાણુઓ નો DNA નિષ્ક્રિય કરીને તે જીવાણુની સંખ્યા વધતી અટકાવી શકે છે. આ પ્લાઝમા આધારિત પારજાંબલી પદ્ધતિ થોડીક સેકંડમાં જ અસરકારક નીવડે છે. વધુમા પાણીની ગંધ અથવા તેના સ્વાદ પર કોઈજ અસર થતી નથી. આ પધ્ધતિ પાણી થી ફેલાતા બધા જીવાણુ તથા વિષાણુ પર પણ અસરકારક છે. આ પધ્ધતિ નો ઉપયોગ બાંગ્લાદેશ માં થઈ રહ્યો છે. ત્યાં પૃષ્ઠતલ પર નું જળ (નાના તળાવ અને ડંકી લગાવેલા કુવાઓમાં) કોલેરા જેવા પાણીજન્ય રોગ ફેલાવતા સૂક્ષ્મ જીવાણુઓ પર પારજાંબલી વિકિરણની પ્રક્રિયા દ્વારા જંતુ રહિત કરવામાં આવ્યું હતું. આવી તીવ્ર પારજાંબલી જળશુદ્ધિકરણ પ્રણાલીઓ વિકસતા દેશો માટે વિશેષ મહત્વની છે, કારણ કે તે વાપરવામાં સરળ અને જાળવણી માટે ઓછી ખર્ચાળ હોય છે. વધુ માં ઓછી કીમતે મોટા પાયે ઉત્પાદન કરી શકાય છે. પ્લાઝમા આધારિત પારજાંબલી પાણી શુદ્ધિકરણ પ્રણાલીમાં વપરાતી ઊર્જા પાણી ઉકાળવામાં લાગતી ઊર્જા કરતા હજારો ગણી ઓછી હોય છે.

જીવનની ગુણવત્તા સુધારવા માટે

પ્લાઝમા ટેકનોલોજીનો વિકાસ તથા તેનો વપરાશ આપણું પર્યાવરણ સ્વચ્છ રાખવામાં મદદ કરી શકે તથા તેનો બચાવ પણ કરી શકે. આ ટેકનોલોજીઓ નવી સફાઈની પદ્ધતિઓ આપી શકે અને પ્રદૂષણ ઘટાડી શકે; અને આ રીતે વિકાસશીલ દેશોમાં જીવનની ગુણવત્તા પણ સુધરી શકે. કદાચ આપણા પર્યાવરણના અનેક પડકારોનો આ ટેકનોલોજીઓ એક માત્ર ઉપાય હોઈ શકે. એક વખત આ ટેકનોલોજી વિકસે તો તેનાથી હવા, પાણી અને જમીન જેવા જીવન માટેના અત્યઆવશ્યક સંસાધનોની આજે જે અવસ્થા થઈ છે તે (જે આજે વૈશ્વિક કચરાપેટી બની ગયા છે!) એક ભૂતકાળના સપના જેવી થઈ રહે.

સંદર્ભ

1. http://www.plasmacoalition.org: a highly resourceful website on plasmas and their applications.
2. Cleaning the Environment by Paul Woskov in plasmacoalition.org
3. Pyrolysis, Gasification and Plasma, Friends of the earth, September 2009, www.foe.co.uk
4. Gas Plasma Autos on the way? by Donald Sensing, www. Windsofchange.net
5. Plasma Processing Update, FCIPT (IPR), Newsletter Vols 65 (2012) & 66 (2012), www.plasmaindia.com

નાભિકીય સંલયનમાથી ઊર્જા

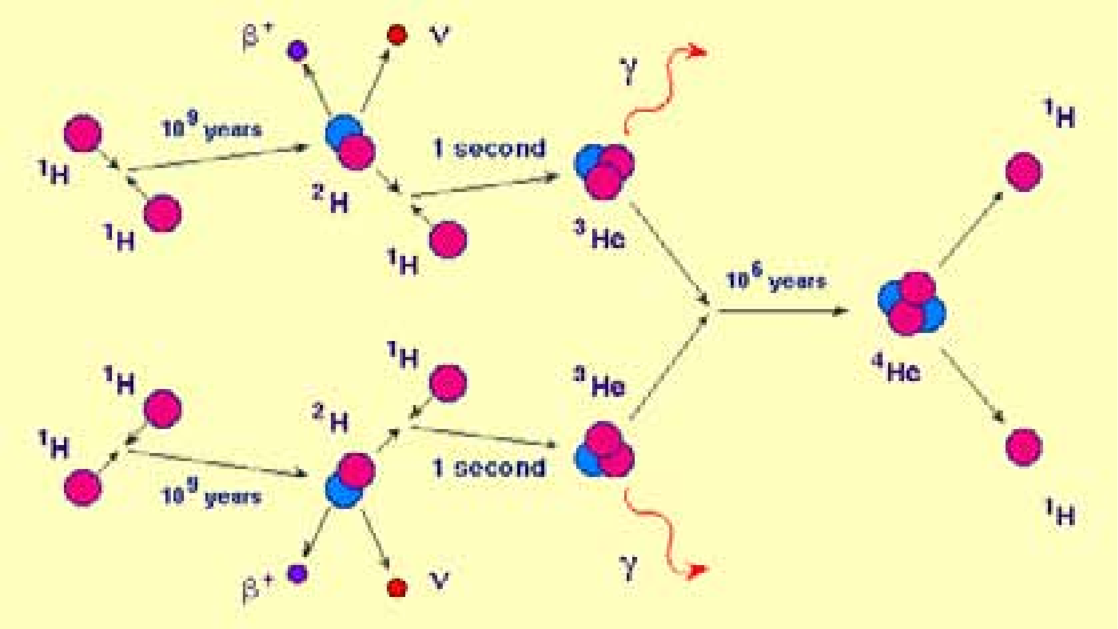
વિખંડન અને સંલયન

યુરેનિયમ- ૨૩૫ (U^{235}) જેવા ભારે તત્વ ની નાભિ પર જ્યારે ન્યુટ્રોન દ્વારા સંઘાત કરવામા આવે, ત્યારે યુરેનિયમ ની નાભિ ન્યુટ્રોનને શોષી લે છે અને નાભિનું લગભગ બે સરખા ભાગોમાં વિખંડન થાય છે, તથા ઊર્જા બહાર પડે છે. આ પ્રક્રિયાને નાભિકીય વિખંડન કહે છે. આનાથી ઊલટું, જો બે હલકા તત્વની નાભિઓ સાથે જોડાઇને કોઇ વધુ દળવાળી નાભિનું સર્જન કરે - અર્થાત્ બંને કરતાં ભારે તત્વનું સર્જન કરે- ત્યારે પણ ઊર્જા બહાર પડે છે. આ નવા તત્વની નાભિનું દળ સંયોજન પહેલાની બે નાભિઓના દળના સરવાળા કરતાં ઓછું હોય છે. આ દળનો તફાવત આઇન્સટાઇનના દળ-ઊર્જાના સિદ્ધાંત અનુસાર ઊર્જામાં પરિવર્તિત થાય છે. આ પ્રક્રિયાને ''નાભિકીય સંલયન'' કહેવામાં આવે છે. જો કે આ પ્રક્રિયા દરમિયાન બન્ને હલકા તત્વની નાભિઓ પરના ધનવિદ્યુત ભારને લીધે બાધા આવે છે કારણ કે, બે ઘનવિદ્યુત ભાર વચ્ચે કુલંબના નિયમ અનુસાર અપાકર્ષણનું બળ રહેલું હોય છે, જે બન્ને નાભિઓને એક બીજાની નાભિકીય બળની હદમાં આવતાં અવરોધે છે. બન્ને નાભિઓ એકબીજાના નાભિકીય બળની હદમાં આવે તો જ સંલયન સંભવ બને છે. ડ્યુટેરિયમ (^2H) ની બે નાભિઓને આ કુલંબ અપાકર્ષણની ઉપરવટ થઇ એકબીજાના નાભિકીય બળની હદમાં આવવા માટે લગભગ ૨૦૦ keV જેટલી ઊર્જાની જરૂર પડે. ઓરડાના ઉષ્ણતામાને કોઇ કણની સરેરાશ ઉષ્મીય ઊર્જા 0.04 eV જેટલી જ હોય છે. તો સંલયન માટે આટલી બધી ઊર્જા કઇ રીતે મેળવી શકાય? આ માટે એક ઉપાય એવો છે કે પદાર્થનું તાપમાન એટલું વધારવું કે જેથી પદાર્થના કણોને તેમની ઉષ્મીય ગતિને લીધેજ પૂરતી ઊર્જા મળી રહે અને કુલંબ અપાકર્ષણના અવરોધની ''દિવાલ'' ઓળંગી શકાય, અને બંને નાભિઓ નજીક આવીને સંલયનની પ્રક્રિયા સંભવ બને. આ પ્રક્રિયાને ''ઉષ્માનાભિકીય સંલયન'' કહેવામાં આવે છે.

ઓરડાના ઉષ્ણતામાને કણોની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા ખૂબ ઓછી હોય છે, આથી આપણે સંલયન પ્રક્રિયાની અપેક્ષા રાખી ન શકીએ. સૂર્યના કેન્દ્રમાં ઉષ્ણતામાન $15x10^6$ K જેટલું હોવા છતાં પણ સરેરાશ ગતિશક્તિ 1.9 keV જેટલી જ હોય છે, કે જે 200 keVના સ્તર કરતાં ઘણી જ ઓછી છે, અને છતાં પણ આપણે જાણીએ છીએ સૂર્યની અંદર નાભિકીય સંલયન પ્રક્રિયા તો થાય જ છે, અને સૂર્ય તથા તારાઓમાં ઊર્જાના ઉત્પાદન માટે આજ મુખ્ય અને પ્રભાવી પ્રક્રિયા છે. તો પછી સૂર્યની અંદર નાભિકીય પ્રક્રિયા કેવી રીતે શક્ય બને છે? દરેક કણની ''સરેરાશ ગતિ ઊર્જા 1.9 keV હોવા છતાં આનાથી વધારે ઊર્જા ધરાવતા કણો પણ સૂર્યની અંદર ઉપસ્થિત હોય છે - જો કે તેમની સંખ્યા ઘણી ઓછી હોય છે (જે સંલયન પ્રક્રિયા સંભવ બનાવે છે). વધુમાં એવું પણ બને કે, મોટા ભાગના કણોની ગતિઊર્જા કુલંબ સ્તરથી ઓછી હોવા છતાં મોટા ભાગ નાં કણો આ સ્તર કે ''દિવાલ'' ને ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રની ઘટના અનુસાર ભેદી જાય અને સંલયન સંભવ બને - કુલંબની ''દિવાલ''માં છીંડુ પાડીને! અને મુખ્યત્વે આ જ પ્રક્રિયા દ્વારા સૂર્યની અંદર સંલયન સંભવ બને છે.

નાભિકીય સંલયન અને તારાઓમાં ઊર્જાનું ઉત્પાદન

સૂર્ય 3.9 $x10^{26}$ W ના દરે ઊર્જા પ્રક્ષેપિત કરે છે, અને તે પણ સતત ૪.૫ અબજ વર્ષોથી! આપણે ૧૯૩૦ થી એ તથ્યથી વાકેફ છીએ કે આટલી પ્રચંડ ઊર્જાના ઉત્પાદન માટે સૂર્યની અંદર અવિરત ચાલતી ઉષ્માનાભિકીય પ્રક્રિયાઓ જવાબદાર હોય છે. સૂર્યનું દળ 2.0 x 10^{30} kg જેટલું છે. કઇ સંલયન પ્રક્રિયા સૂર્યમાંથી પ્રક્ષેપિત થતી ઊર્જા માટે કારણભૂત હશે? સૂર્યમાંથી પેદા થતી ઊર્જા હાઇડ્રોજનના ઉષ્માનાભિકીય દહન (અર્થાત હાઇડ્રોજન તત્વની બે નાભિઓના સંલયન) ને આભારી છે, જેમાં હાઇડ્રોજનનું રૂપાંતર હિલિયમમાં થાય છે, અને આ પ્રક્રિયા ''પ્રોટોન-પ્રોટોન



આકૃતિ ૧ : પ્રોટોન-પ્રોટોન (PP) શૃંખલા જેથી સૂર્યમાં મુખ્યત્વે ઊર્જા પેદા થાય છે.

(PP) શૃંખલા'' કહેવાય છે **(આકૃતિ ૧)**.

આ પ્રોટોન-પ્રોટોન (PP) શૃંખલા (ચક્ર) ને ટૂંકમાં સમજીએ. બે પ્રોટોન (^1H) નું એક સાથે સંલયન થાય છે. સાથોસાથ એક પોઝિટ્રોન, એક ન્યુટ્રિનો અને એક ડ્યુટેરોન (^2H) અર્થાત્ ''ભારે'' હાઇડ્રોજનની નાભિનું સર્જન થાય છે. પોઝિટ્રોન (ઇલેક્ટ્રોન જ પરંતુ જેના પર ધન વિદ્યુતભાર હોય છે) તુરંત જ ઝડપથી એક મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનના સંપર્કમાં આવે છે અને બંને કણો એક બીજાનો વિનાશ કરે છે, તથા બંનેના દળ જેટલી ઊર્જા બે ગેમા-કિરણ સ્વરૂપે જોવા મળે છે. ત્યાર બાદ ડ્યુટેરોન (^2H) અન્ય (^1H) કણ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે, અને હિલિયમની નાભિ નિર્માણ થાય છે ($^3He_2$), જેમાં બે પ્રોટોન અને એક ન્યુટ્રોન હોય છે. સાથોસાથ એક ગેમા કિરણ પણ પ્રક્ષેપિત થાય છે. ત્યારબાદ બે અલગ અલગ ઘટનાઓમાં નિર્મિત ($^3He_2$) નાભિઓનું સંલયન થઇને એક ($^4He_2$) અર્થાત્ સામાન્ય હિલિયમની નાભિ તથા બે પ્રોટોનનું નિર્માણ થાય છે. સરવાળે હાઈડ્રોજનનું હિલિયમમાં રૂપાંતર થાય છે અને ઉત્પન્ન થયેલી ઊર્જા પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં કણો તથા દરેક તબક્કામાં ઉત્પન્ન થયેલ ગેમા કિરણોમાં ક્રમબદ્ધ રીતે વિતરિત થાય છે.

અહીં આપણે નોંધ કરીએ કે, આપણે શરૂઆત કરી બે પ્રોટોનથી, અને પ્રક્રિયાના અંતે આપણને મળે છે બે પ્રોટોન અને હિલિયમ ($^2He_4$) ની એક નાભિ !

તારાઓનાં અંતર્ભાગમાં પરમાણુ નાભિને શ્રેણીબદ્ધ રીતે દરેક તબક્કામાંથી પસાર થતાં કેટલો સમય લાગે છે તે આકૃતિ ૧ માં દર્શાવેલ છે. આમ, હાઇડ્રોજનની એક નાભિને હાઇડ્રોજનની અન્ય નાભિ સાથે પરસ્પરિક ક્રિયા કરતાં પહેલા લગભગ ૧ અબજ વર્ષ સુધી રાહ જોવી પડે છે ! બીજા બધા તબક્કાઓમાં તો આનાથી ઘણો ઓછો સમય લાગે છે, અને આ કારણથી પ્રારંભિક તબક્કો જ આ પ્રક્રિયાનાં દરનું નિયંત્રણ કરે છે. આ દર માન્યામાં ન આવે તેટલો ઓછો હોવા છતાં સામાન્ય તારાઓની તેજસ્વિતા માટે કારણભૂત બને છે. તારાના આંતરિક ભાગમાં હોઇડ્રોજનના પરમાણુઓની સંખ્યા એટલી વિપુલ હોય છે કે કોઇપણ ક્ષણે PP શૃંખલાની પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં હાઇડ્રોજન નાભિઓની સંખ્યા પ્રચુર પ્રમાણમાં હોય છે.

દરેક PP ચક્રમાં કેટલી ઊર્જા પેદા થાય છે? આપણે જો એકંદર પરિસ્થિતિનો વિચાર કરીએ, તો PP ચક્રમાં ચાર પ્રોટોન તથા બે ઈલેક્ટ્રોન મળીને એક આલ્ફાકણ

($^4He_2$ ની નાભિ), બે ન્યુટ્રિનો (ν) અને છ ગામા કિરણો (γ) બને છે:

$$4\,^1H + 2e \rightarrow \,^4He + 2\nu + 6\gamma$$

સમીકરણની બંને તરફ બે ઈલેક્ટ્રોન ઉમેરતાં,

$$4(^1H + e) \rightarrow (^4He + 2e) + 2\nu + 6\gamma$$

કૌંસમાં બતાવેલ પદાર્થ હવે નાભિ નહીં પરંતુ પરમાણુ, એટલે નાભિ સાથે ઈલેક્ટ્રોનનું પ્રતિનિધિત્વ કરે છે (હાઇડ્રોજન તથા હિલિયમના પરમાણુનું). આ પ્રક્રિયામાં કુલ ઊર્જા Q કેટલી મુક્ત થાય છે તે હાઇડ્રોજન તથા હિલિયમનાં પરમાણુદળ દ્વારા સહેલાઈથી શોધી શકાય.

$$Q = \Delta mc^2 = [4m\,(^1H) - m\,(^4He)]\,c^2$$
$$= [4(1.007825) - 4.002603]\,c^2$$
$$= 26.7 \text{ MeV}.$$

ન્યુટ્રિનો ખૂબ જ ઓછું, એટલે કે અવગણી શકાય તેટલું દળ ધરાવે છે, અને ગેમા કિરણના ઊર્જાપુંજ (ફોટોન)નું દળ તો શૂન્ય હોય છે, તેથી ગણતરીમાં લીધું નથી. દરેક ચક્રમાં પેદા થતાં બે ન્યુટ્રિનો આ ઊર્જામાંથી 0.5 MeV જેટલી ઊર્જા લઇ જતાં હોય છે, અને ખૂબ ભેદક હોવાને કારણે સૂર્યમાંથી બહાર નીકળી જાય છે. આમ, દરેક PP ચક્ર દરમિયાન 26.2 MeV જેટલી ઊર્જા સૂર્યના અંતર્ભાગમાં ઉત્પન્ન થાય છે.

સૂર્યમાંનો બધો જ હાઇડ્રોજન હિલિયમમાં રૂપાંતરિત થાય તો આજે જેમ સૂર્ય ઝળહળે છે તેમ કેટલો સમય ઝળહળતો રહેશે? સૂર્યના હાઇડ્રોજનનું દહન (એટલે કે હાઇડ્રોજનનું હિલિયમમાં રૂપાંતરણ) તો સૂર્યમાં ૪.૫ અબજ વર્ષથી થઇ રહ્યું છે, બીજા ૫ વર્ષ સુધી દહન થાય તેટલો હાઇડ્રોજન હજું મોજૂદ છે! ત્યારબાદ મોટા ફેરફારો થવાની શરૂઆત થશે. ત્યારે સૂર્યના ગર્ભમાં મોટે ભાગે હિલિયમ હશે, સૂર્યનો અંતર્ભાગ સંકુચિત થવા લાગશે અને સાથોસાથ ગરમ થશે. તે જ સમયે બહારના આવરણ (કવચ)નું પણ વિસ્તરણ થશે - એટલું બધું કે પૃથ્વીની કક્ષાને પણ ગ્રાસી લેશે. આ સમયે ખગોળશાસ્ત્રીઓના કહેવા પ્રમાણે સૂર્ય રક્તદાનવ (red giant) બની જશે.

PP પ્રક્રિયામાં તો હિલિયમનું સર્જન થાય છે, પરંતું હિલિયમથી ભારે તત્વોનું નિર્માણ કેવી રીતે થતું હશે? સમય પસાર થવા સાથે તારો વધુ ગરમ થાય છે, અને અન્ય સંલયન પ્રક્રિયાઓના ફળસ્વરૂપ હિલિયમથી ભારે તત્વોનું સંશ્લેષણ થાય છે. પરંતુ A=56 જેમ કે, લોહ (^{56}Fe) થી ભારે તત્વોનું આ રીતે થતી સંલયન પ્રક્રિયા દ્વારા નિર્માણ સંભવ નથી. ^{56}Fe થી ભારે તત્વોનું સંયોજન સુપરનોવા વિસ્ફોટમાં થાય છે, જેમાં સૂર્યકરતાં ૮ થી ૧૦ ગણા મહાકાય તારાનો વિસ્ફોટ થાય છે. તો પછી સૂર્યમાં લોહ કરતાં પણ ભારે તત્વોનું અસ્તિત્વ શાને આભારી છે? સૂર્ય અને સૂર્યમાળાના ગ્રહો કોઈ સુપરનોવાના વિસ્ફોટ બાદ અવકાશમાં પ્રસરેલા તેના કાટમાળમાંથી અસ્તિત્વમાં આવ્યા છે, જેમાં લોહથી ભારે તત્વો પણ મોજૂદ હતાં. આજ કારણ છે કે લોહથી ભારે તત્વો પણ આપણને સૂર્ય અને પૃથ્વી સાથેના સૂર્યમાળાના અન્યો ગ્રહોમાં જોવા મળે છે.

નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયન

આપણી પાસે નાભિકીય વિખંડન દ્વારા ઊર્જા ઉત્પન્ન કરતાં રિએક્ટર તો ઘણાં છે, પરંતુ શું આપણે નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયન દ્વારા ઊર્જાનું ઉત્પાદન કરતાં રિએક્ટર્સ્ કે સંયંત્રો બનાવી શકીએ? સમુદ્ર તથા મહાસાગરોમાં તો પાણીના સ્વરૂપમાં સંઘરાયેલો હાઇડ્રોજનનો અઢળક જથ્થો આપણને ઉપલબ્ધ છે, અને આમ સંલયન દ્વારા ઊર્જા ઉત્પન્ન કરવા માટેની ક્ષમતા તો ઘણી છે. ખૂબ જ રસપ્રદ વાત છે ને? ઓક્ટોબર ૧૯૫૨થી પૃથ્વી પર સંલયન પ્રક્રિયા શક્ય બની, જ્યારે સર્વપ્રથમ સંલયન બોમ્બ, અથવા હાઇડ્રોજન બોમ્બનો વિસ્ફોટ કરવામાં આવ્યો હતો. પરંતુ ઉષ્માસંલયન પ્રક્રિયામાં આવશ્યક ઊંચું તાપમાન કેવી રીતે મેળવવામાં આવ્યું હતું? સંલયન બોમ્બનો પલિતો ચાંપવા ઊંચું ઉષ્ણતામાન મેળવવામાં આવ્યું હતું એક પરમાણું નાભિકીય વિખંડન બોમ્બનો ઘોડા (trigger) તરીકે ઉપયોગ કરીને! પરંતુ નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયનને ઊર્જાના સ્રોત તરીકે વિકસાવવાનું કામ તો અત્યંત મુશ્કેલીભર્યુ સાબિત થઈ રહ્યું છે, જોકે આ દિશામાં જોશીલા પ્રયત્નો થઇ રહ્યા છે. ઘણા લોકો તો એવું માને છે કે નિયંત્રિત સંલયન દુનિયાને વિદ્યુત ઊર્જા પૂરી પાડવા માટેનો આખરી ઉપાય સિદ્ધ થશે!

તારાઓની અંદર થતી પ્રોટોન - પ્રોટોન પ્રક્રિયા (**આકૃતિ ૧**) પૃથ્વી પર સંલયન દ્વારા ઊર્જાનાં ઉત્પાદન માટે યોગ્ય નથી, કારણ કે તેનો પ્રથમ તબક્કો ખૂબ જ ધીમો છે, જે ૧ અબજ વર્ષ જેટલો સમય લે છે! વધુમાં આ પ્રક્રિયા તારાઓની અંદર તો સફળતાથી આગળ વધી શકે છે કારણ કે તારાઓના ગર્ભમાં ઘનતા ખૂબ જ વધારે હોય છે, જેને લીધે પ્રોટોનનો જથ્થો વિપુલ પ્રમાણમાં ઉપલબ્ધ હોય છે.

પૃથ્વી પર સૌથી આકર્ષક કોઈ પ્રક્રિયા હોય તો ડ્યુટેરોન -ડ્યુટેરોન (d-d) તથા ડ્યુટેરોન-ટ્રિટોન (d-t) પ્રક્રિયાઓ છે. d-t પ્રક્રિયા આકૃતિ ૨ માં દર્શાવવામાં આવી છે. આપણે એ વાતની નોંધ લઈએ કે ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટીયમ (^2H) તથા (^3H) પરમાણુ દર્શાવે છે, ડ્યુટેરોન (^2H) હાઇડ્રોજન પરમાણુની નાભિ દર્શાવે છે જેનો પરમાણુ ભાર A=2 હોય છે, જ્યારે ટ્રિટોન (^3H) હાઇડ્રોજન પરમાણુની નાભિ દર્શાવે છે, જેનો પરમાણુ ભાર A=3 હોય છે.

સંભવિત પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે હોઈ શકે:

d-d: $^2H + ^2H \rightarrow ^3He + n$ (Q= 3.27 MeV)

d-d: $^2H + ^2H \rightarrow ^3H + ^1H$ (Q= 4.03 MeV)

d-t: $^2H + ^3H \rightarrow ^4He + n$ (Q= 17.59 MeV)

આપણે અહીં નોંધીશું કે ટ્રિટિયમ (પરમાણુ ^3H) કિરણોત્સર્ગી (રેડિયોએક્ટિવ) છે અને કુદરતમાં સામાન્ય હાઇડ્રોજન (^1H) સાથે જોવા જોવા મળતો નથી. ઉષ્માનાભિકીય સંલયન રિએક્ટરને સુચારુ રીતે કાર્યાન્વિત કરવા માટે પાયાની જરૂરિયાતમાં સામેલ છે:

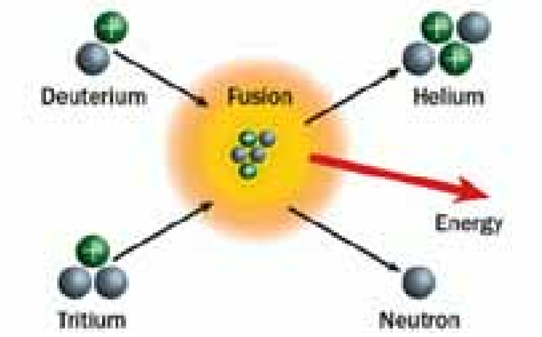
૧) પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા કણોની ઉચ્ચ ઘનતા

૨) પ્લાઝમાનું ઉચ્ચ તાપમાન

૩) રિએક્ટર (સંયંત્રમાં) પ્લાઝમાનું લાંબા સમય માટે બંધન.

પ્લાઝમા એટલે તટસ્થ વિદ્યુતભાર વાળો, પરંતુ ઉચ્ચ માત્રામાં આયનીકૃત ગેસ જેમાં આયન, ઈલેક્ટ્રોન તથા તટસ્થ કણો મોજૂદ હોય છે. પ્લાઝમા પદાર્થની એક એવી અવસ્થા છે જે ઘન, પ્રવાહી તથા વાયુ કરતાં સર્વથા ભિન્ન પ્રકારની હોય છે.

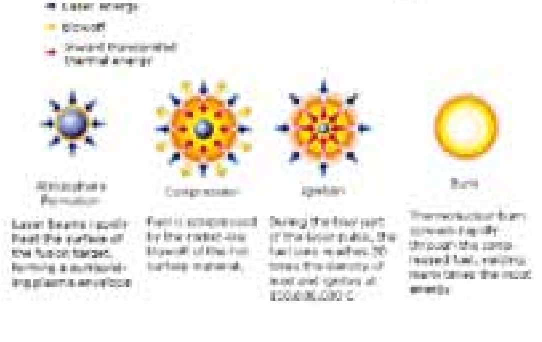
જડ બંધિતાવસ્થા (inertial confinement) નામની એક વિશિષ્ટ વિધિમાં (**આકૃતિ ૩**) ઇંધણમાં અલ્પ એવો જથ્થો ખુબ ઝડપથી દબાવવામાં આવે છે અને તે ઝડપથી ગરમ થતાં ઇંધણનું વિસ્તરણ થઈને તે ઠંડુ થાય તે પહેલાં જ સંલયનની પ્રક્રિયા સંભવ બને છે.



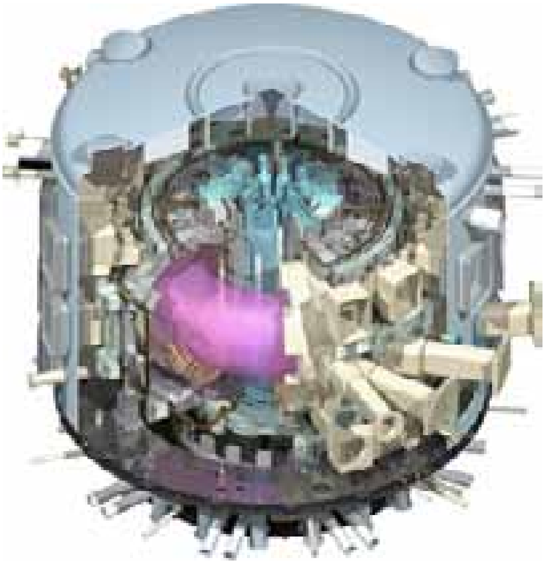
આકૃતિ ૨ : d - t પ્રક્રિયા

આ ઇંધણમાં ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રીટીયમ ની કદમાં ખૂબ જ નાની એવી ગોળી હોય છે અને બધી બાજુથી તેના પર શક્તિશાળી કણો કે લેસર બીમ દ્વારા મારો કરવામાં આવે છે. લેસર બીમ પર વધુ ધ્યાન કેન્દ્રિત કરવામાં આવ્યું છે, પરંતુ ઇલેક્ટ્રોન તથા પ્રોટોનના બીમ પણ ઘણા આશાસ્પદ માનવામાં આવી રહ્યાં છે. ગમે તે હોય, એક વાત નિશ્ચિત છે કે નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયન તરફની મજલ હજુ ખૂબ લાંબી અને દુષ્કર છે!

પ્લાઝમાને બંધિતાવસ્થામાં લાવવા માટેની એક અન્ય વિધિમાં પ્લાઝમાનું તાપમાન વધારવા સાથે તીવ્ર ચુંબકીય ક્ષેત્રનો ઉપયોગ પણ કરવામાં આવે છે. આ વિધિને ચુંબકીય બંધન કે બંધિતાવસ્થા કહે છે, અને આ પ્રકારનું સંલયન રિએક્ટર "ટોકામાક" (tokamak) તરીકે જાણિતું છે. આ શબ્દ રશિયન ભાષામાંથી



આકૃતિ 3 : જડબંધિતાવસ્થામાં થતું સંલયન



આકૃતિ ૪ : ITERનું રેખાત્મક ચિત્ર

આવેલો છે. ટોરોઇડલ મેગ્નેટિક ચેમ્બર (અર્થાત્ એક ગોળ પોલા, નળાકાર જેવું કંકણાકૃતિ ચુંબકીય પાત્ર) માટે રશિયન ભાષામાં વપરાતા વિશિષ્ટ શબ્દસમૂહના આદ્યાક્ષરોથી બનતો શબ્દ ટોકામાક છે! અહીં ચુંબકીય ક્ષેત્ર તો એક ટોરસ (torus) અર્થાત્ કંકણાકૃતિ સપાટી જેવા આકારમાં જ હોય છે. આ જાતના ઘણા મશીન બનાવવામાં આવ્યા છે, અને તેમનું પરીક્ષણ પણ કરવામાં આવ્યું છે.

ભારતમાં આવા બે ટોકામાકનું ગાંધીનગર, ગુજરાત, ખાતે પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન (Institute for Plasma Research) માં નિર્માણ કરવામાં આવેલ છે. બન્નેનો ઉપયોગ ઉષ્માનાભિકીય રિએક્ટરમાં જોવા મળતી મૂળભૂત ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરવા માટે થાય છે. આંતરરાષ્ટ્રિય ઉષ્માનાભિકીય પ્રાયોગિક રિએક્ટર (અર્થાત્ International Thermonuclear Experimental Reactor)નું નિર્માણ એક અત્યંત મહત્વાકાંક્ષી યોજના છે, જેનો સંલયન ઊર્જા વ્યવહારુ રીતે મેળવવા માટેના અંતિમ તબકકારૂપે લેખવામાં આવે છે (**આકૃતિ ૪**). ITERનો અર્થ લેટિનભાષામાં ''પથ'' કે ''રસ્તો'' એવો પણ થાય છે. ડ્યુટેરિયમ-ટ્રિટિયમની સંલયન પ્રક્રિયા દ્વારા ITER ૫૦૦ MW જેટલી ઊર્જા વિદ્યુતના રૂપમાં પેદા કરશે. તેનું નિર્માણ દક્ષિણ ફ્રાન્સમાં થઇ રહ્યું છે અને યુરોપિયન સંઘ સાથે અન્ય છ દેશો (જેમાં ભારત પણ સમાવિષ્ટ છે) આ મહત્વાકાક્ષી પરિયોજનામાં સહભાગી થયેલા છે.

બ્રેકઇવન પોઇન્ટ

કોઇ સંયંત્રને કાર્યક્ષમ હોવા માટે તે જેટલી ઊર્જાનો વ્યય કરે છે તે, કરતાં વધુ ઊર્જાનું ઉત્પાદન કરવું જરૂરી છે. બ્રેકઇવન પોઇન્ટ એટલે એ ક્ષણ કે જ્યારે કોઇ પ્લાઝમા રિએક્ટરમાં જેટલી ઊર્જાનો વ્યય થાય, કમસે કમ તેટલી ઊર્જાનું ઉત્પાદન તો અવશ્ય થાય. ૧૯૯૦ના દશકાના પ્રારંભમાં જોઇન્ટ યુરોપિયન ટોરસ (JET), જે કલ્હેમ, ઈંગલેન્ડમાં અવસ્થિત છે, ત્યાં સર્વપ્રથમ નિયંત્રિત સંલયન ઊર્જાનું ઉત્પાદન સંભવ બન્યું. ITER જેટલી ઊર્જા નો વ્યય કરે, તેના કરતાં ઘણી વધારે ઊર્જા ઉત્પન્ન કરશે. ૫૦ MW જેટલી આદાન ઊર્જા (Input Power) માટે ૫૦૦ MW જેટલી પ્રદાન ઊર્જા (output Power) પેદા થશે, અને સંભવ છે કે સંલયન ઊર્જાના ઇતિહાસનું નવું પ્રકરણ લખવાની શરૂઆત થાય.

સંદર્ભ

1. Concepts of Modern Physics by Arthur Beiser 2003 Pub: Tata Mc Grow- Hill
2. Nuclear Physics by Irving Kaplan 1962 Pub: Addison-Wesley / Oxford & IBH
3. Quantum Physics by Robert Eisberg & Robert Resnick 2002 John Wiley
4. Physics by David Halliday, Robert Resnick, and Kenneth S Krane 1992 John Wiley
5. http://www.plasmacoalition.org: a highly resourceful website on plasmas and their applications.
6. Numerous articles in Wikipedia

વાર્તા ITER ની

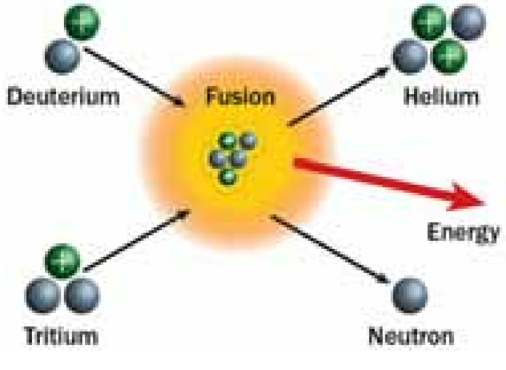
ITER નો જન્મ

૧૯ મી અને ૨૦મી સદીમાં સંસ્કૃતિના વિકાસમાં અશ્મિભૂત ઈન્ધણનો ફાળો મહત્વનો હતો. પરંતુ ઈન્ધણ ની માંગ ઉત્તરોત્તર વધતી જ રહી છે. વૈશ્વિક ઊર્જાનો વપરાશ ૨૧મી સદીનાં અંત સુધીમાં ૩ ગણો થવાની શક્યતા છે. અશ્મિભૂત ઈન્ધણનો પુરવઠો ક્રમશઃ ઘટી રહ્યો છે, અને તેના વધુ પડતા ઉપયોગ ને લીધે પર્યાવરણ પર થતી માઠી અસરો ગંભીર સ્વરૂપની છે. ઊર્જાની આ પ્રચંડ માંગ આપણે કેવી રીતે પૂરી કરી શકીશું? અને તે પણ વાયુમંડળમાં ખતરનાક ગ્રીનહાઉસ વાયુઓનો વધારો કર્યા વગર? સ્પષ્ટ છે કે કોઇ પણ એક દેશ આ પડકારોનો એકલે હાથે સામનો કરવા સક્ષમ નથી. આ ચિંતાઓને કારણે જ ૧૯૮૫મા જિનીવામાં આયોજિત સુપર પાવરદેશોની શિખર પરિષદમાં ગહન વિચાર વિમર્શના અંતે ITER પરિયોજનાનો જન્મ થયો. આજે રશિયા, અમેરિકા, કોરિયા, ચીન, જાપાન, ભારત તથા યુરોપિય સંઘ આ મહત્વાકાંક્ષી પરિયોજનામા સહભાગી થઈ રહ્યા છે. આ પરિયોજનામાં આજે વિશ્વ ની લગભગ અડધી આબાદીનુ પ્રતિનિધિત્વ છે. ITERનો અર્થ લેટિન ભાષામાં "રસ્તો" એવો થાય છે. આ વિશાળ પરિયોજનામાં આંતરરાષ્ટ્રિય સ્તર ઉપર અભૂતપૂર્વ એવા વૈજ્ઞાનિક સહયોગ ની જરૂર પડશે. ITER પરિયોજના દક્ષિણ ફ્રાંસમાં કેડરશ નામના સ્થળે સાકાર થઈ રહી છે. ITER શબ્દ નો વિસ્તૃત અર્થ થાય છે International Thermonuclear Experimental Reactor (આંતરરાષ્ટ્રિય ઉષ્માનાભિકીય પ્રાયોગિક રિએક્ટર).

ITER સંલયન ઉપર દશકાઓથી વિશ્વભર ચાલતા સંશોધનનું પરિણામ છે. લગભગ ૨૦૦ ટોકામાક (Tokamak) છેલ્લા કેટલાક દશકાઓમાં બનાવવામાં આવ્યાં છે, અને ITER તે આ ટોકામાક દ્વારા થયેલ સંશોધન ની પરાકાષ્ઠા છે. સૌથી નાનુ ટોકામાક તો એક કોમ્પેક્ટ્ ડિસ્ક (CD) જેટલું જ હતું, જ્યારે સૌથી મોટુ ટોકામાક આશરે પાંચ માળ ની ઈમારત જેટલું મોટુ હતું! ITER કેટલું મોટું હશે? ITER ૭૩ મીટર ઊંચુ (૬૦ મીટર જમીન થી ઉપર અને ૧૩ મીટર જમીન થી નીચે) હશે. અર્થાત્ હાલના સૌથી મોટા ટોકામાક કરતાં બમણા કદનુ હશે. ટોકામાક એક મશીન છે, જેમાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર દ્વારા પ્લાઝમાને એક કંકણાકાર પોલી નળી જેવા આકાર ના પાત્રમાં, અથવા ટોરસ (Torus) માં, બંધિત કરવામા આવે છે. પ્લાઝ્મા ને સ્થિર સંતુલનમાં રાખવા માટે ચુંબકીય ક્ષેત્રની રેખાઓ ટોરસ ની ફરતે કુંતલાકાર (helical) સ્વરૂપ મા હોવી જરૂરી છે. ITERને સંલયન ઊર્જા ઉત્પાદનના પ્રદર્શન સંયંત્ર રૂપે લેખવામાં આવે છે.

એક સાદો વિચાર

સૈધ્ધાંતિક રીતે ITERમાં ઊર્જાનુ ઉત્પાદન તો અત્યંત સહજ છે. ભારે હાઈડ્રોજન ના બે સમસ્થાનિકો લો જેમ કે ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમ. બન્ને ને એક સાથે બળપૂર્વક નજીક લાવો, અને આપણ ને મળશે એક હિલિયમનો પરમાણુ તથા એક શક્તિશાળી ન્યુટ્રોન (આકૃતિ ૧). આ બન્ને નુ સંયુકત દળ ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમના દળ કરતાં થોડું ઓછું હોય છે, અને દળનો આ તફાવત આઈન્સ્ટાઈનના દળ-ઊર્જાના ($E=mc^2$) સિધ્ધાંત અનુસાર મોટી માત્રામાં ઊર્જા રૂપે જોવા મળે છે. આ ઉત્પન્ન થતી ઊર્જાને જો કાર્યક્ષમ રીતે નિયંત્રિત



આકૃતિ ૧ : d-t પ્રક્રિયા

કરી શકાય તો નાભિકીય સંલયન દ્વારા ઊર્જા પેદા કરીને વિશ્વ ની ઊર્જાની સમસ્યા દૂર કરી શકાય!

એક સમસ્યા

જો કે એક સમસ્યા છે! સંલયન માટે આપણે શરૂઆતમાં લીધેલ ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રિટિયમ પરમાણુની નાભિઓ ઉપર ધન વિદ્યુતભાર હોય છે, અને તેથી એક બીજાનું અપાકર્ષણ કરશે. તો પછી સૂર્યના ગર્ભમાં સંલયનની પ્રક્રિયા કેવી રીતે સંભવ બને છે? સૂર્યના ગર્ભમાં ભારે ગુરૂત્વાકર્ષીય દબાણ ને કારણે સંલયન પ્રક્રિયા ૧.૫ કરોડ ^{0}C પર સંભવ બને છે. પરંતુ ITER જેવા મશિનમા સંલયન પ્રક્રિયા માટે ૧૫ કરોડ ^{0}C જેટલા તાપમાનની જરૂર પડે છે. પૃથ્વી પર કોઈ પણ પદાર્થ એવો નથી જે આટલા ઊંચા તાપમાન સામે ટકી શકે. તેથી ITER સંયંત્ર પણ સંલયન પ્રક્રિયા ને શક્ય બનાવવા માટે ટોકામાક મશિનનો ઉપયોગ કરશે. તીવ્ર ચુમ્બકીય ક્ષેત્ર દ્વારા ટોકામાક પ્લાઝમાને સંયંત્રની ભઠ્ઠીની દિવાલથી દૂર રાખે છે.

ITER કેટલી ઊર્જા પેદા કરશે?

ITER દ્વારા કેટલી ઊર્જા પેદા થશે? ITERનું લક્ષ્ય સંલયન દ્વારા ૫૦૦ મેગાવોટ જેટલી ઊર્જા પેદા કરવાનુ છે. ITER જો કે તેના પશ્ચાત્ તૈયાર થનારા DEMO નામ ના એક નિદર્શન રૂપી ઊર્જામથકનુ એક પુરોગામી સંયંત્ર માત્ર જ છે. DEMO સંલયન ઊર્જા દ્વારા વરાળ ઉત્પન્ન કરી ટર્બાઈન થી ૧૦૦૦ મેગાવોટ જેટલી વિદ્યુત શક્તિ પેદા કરશે. આટલી વિદ્યુત શક્તિ દ્વારા લગભગ ૨૫ લાખ ભારતના ઘરોમાં વીજળીનો પૂરવઠો કરી શકાય!

સંલયન માટે પાણી!

ડ્યુટેરીયમ તો સમુદ્રના પાણીમાંથી બહોળા જથ્થામા મેળવી શકાય, પરંતુ ટ્રીટીયમનો જથ્થો તો દુનિયામાં સીમિત છે - અંદાજે ૨૦ કિલોગ્રામ જેટલો જ. આથી સંલયન ઊર્જા એકમમાંજ જરૂરી ટ્રીટીયમ પેદા કરવું પડે. આ માટે એકમ ની અંદર લિથીયમમાંથી ટ્રીટીયમનું ઉત્પાદન કરવા માટે વ્યવસ્થા કરવામાં આવે છે, જેને ‘‘ટ્રીટીયમ બ્રીડીંગ મોડ્યુલ’’ કહેવામાં આવે છે. જ્યારે સંલયન પ્રક્રિયા દરમિયાન ન્યુટ્રોનનો મારો લીથીયમ ઉપર કરવામાં આવે ત્યારે તેનું રૂપાંતર ટ્રીટીયમમાં થાય છે. વધુ માં લીથીયમ એક હલકી ધાતુ છે, અને સીસા જેટલી જ બહોળા પ્રમાણમાં પૃથ્વી પર ઉપલબ્ધ છે. ITER નો એક હેતુ ટ્રીટીયમ બ્રીડીંગ મોડ્યુલની પ્રાયોગિક ચકાસણી કરવાનો પણ છે.

સૂર્યના ગર્ભ કરતાં દસ ગણું ગરમ!

સૂર્ય નાં ગર્ભ કરતાં દસ ગણું વધારે તાપમાન ITER કેવી રીતે જાળવશે? આ શક્ય થશે પ્લાઝ્માને તીવ્ર ચુંબકીય ક્ષેત્ર થકી બંધિત કરીને. અલગ અલગ આકારનાં તથા અલગ-અલગ રચના વાળા ચુંબકીય સંલયન મશીન ઘણા દેશોમાં ૧૯૫૦નાં પ્રારંભથી વિકસિત કરવામાં આવેલા છે. પરંતુ વિશેષ સફળતા મળી ઈ. સ. ૧૯૬૮માં સોવિયેત સંઘને. પહેલી વાર ત્યાંના વૈજ્ઞાનિકોને ઉચ્ચ તાપમાન અને દીર્ઘ સમય માટે પ્લાઝમા બંધિત કરવા માટે સફળ રહ્યા. આ સિદ્ધિ હાંસલ કરવા પાછળ શું રહસ્ય હતું? એ હતું એક ક્રાન્તિકારી કુન્તલાકાર ચુંબકીય બંધન ઉપકરણ જેને નામ આપવામાં આવ્યું હતું ટોકામાક, જે વિકસિત કરવામાં આવ્યું હતું મોસ્કો ની કુર્ખાટોવ ઈન્સ્ટીટયુટમાં. આ ઘડી થી સંલયન સંશોધનમાં ટોકામાક એક મહત્વ ની પરિકલ્પના તરીકે ઊભર્યું.

ITERની પર્યાવરણ પર અસર

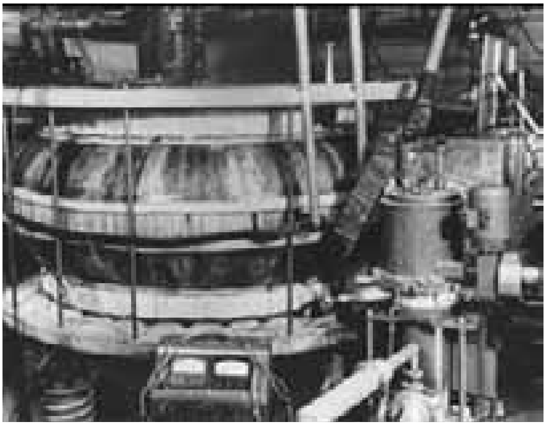
ITERમાં અતિશય પ્રમાણમાં સંલયન દ્વારા ઉત્પન્ન થતી ગરમી દર વર્ષે ત્રીસ લાખ ઘનમીટર જેટલા પાણીમાં શોષિત થશે, સ્થાનિક વર્દોન નદીમાં ઠાલવવામાં આવશે. ટ્રીટીયમ ને લીધે ઉત્પન્ન થતો કચરો નિયંત્રિત સીમા કરતાં ૧૦૦મા ભાગ જેટલો જ હશે. સૌથી અગત્યની વાત તો એ છે કે સંલયન પ્રક્રિયા

દરમિયાન લાંબો સમય ટકી શકે તેવો કચરો પેદા થતો નથી. મશીનનાં કેટલાક ભાગમાંથી ઓછી માત્રાનાં કિરણોત્સર્ગ વાળો કચરો જો કે પેદા થશે. આવા બધા જ કચરાઓ પર પ્રક્રિયા કરી, પેક કરી સંયંત્રનાં સ્થળ ઉપર જ સાચવી રાખવામાં આવશે.

ITERનાં ૧૮૦ હેક્ટર જેટલા વિસ્તારમાં ૩૯ જેટલી સંરક્ષિત કે દુર્લભ પ્રજાતિની જાળવણી માટે યોગ્ય પગલા લેવામાં આવશે. આમાં ઓક્સિટન ક્રિકેટ,પતંગિયાની બે પ્રજાતિઓ, વૂડલાર્ક પક્ષીના માળાનો વિસ્તાર તથા દુર્લભ ઓર્કિડનો પણ સમાવેશ થાય છે. આપણે અહી નોંધીએ કે ITERનાં પ્લેટફોર્મને સમતલ કરવા માટે લગભગ ૨૫ લાખ ઘનમીટર જેટલી માટી તથા પથ્થરોને હટાવવામાં આવ્યા હતા, જેમાંથી ૨/૩ માટી તથા પથ્થરો નો ઉપયોગ સ્થળ ઉપર જ બાંધકામ માટે કરવામાં આવ્યો હતો.

એક સંક્ષિપ્ત ઈતિહાસ

લગભગ ૭૦ વર્ષ પહેલા વૈજ્ઞાનિકોને સૂર્યપ્રકાશનાં વિજ્ઞાન વિષે જાણકારી મળી - અર્થાત્ સૂર્યમાં થતાં ઊર્જાનાં ઉત્પાદન વિશે. સૂર્ય અને અન્ય તારાઓમાં સંલયન પ્રક્રિયા દ્વારા સતત હાઈડ્રોજનનું હીલિયમમાં રૂપાંતર થતું હોય છે, અને પરિણામ સ્વરૂપે પ્રચંડ માત્રા માં ઊર્જા પ્રક્ષેપિત થાય છે. ૧૯૫૦ના મધ્યમાં સોવિયેત



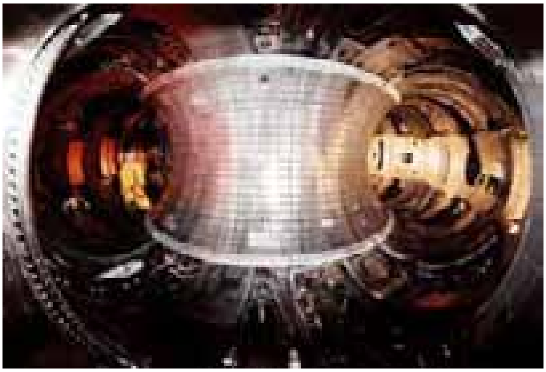
આકૃતિ ૨ : વિશ્વનું પહેલુ ટોકામાક. રશિયામાં મોસ્કો ખાતે કુર્ખાટોવ ઇન્સ્ટીટ્યુટમાં અવસ્થિત T1 ટોકામાક.

સંઘ, ઈન્ગ્લેન્ડ, અમેરિકા, ફ્રાંસ, જર્મની અને જાપાનમાં સંલયન ઉપકરણો કાર્યરત હતા. અને તેમ છતાં તારાઓ માં થતી સંલયન પ્રક્રિયા જેવી જ પ્રક્રિયા દ્વારા પૃથ્વી પર સંલયન ઊર્જાનું ઉત્પાદન કરીને તેનો ઉપયોગ કરવો લોઢાના ચણા ચાવવા જેવું પુરવાર થયું!

આગળ જણાવ્યા મુજબ ૧૯૫૦ તથા ૧૯૬૦નાં દાયકા માં સોવિયેત સંઘમાં થયેલ પાયા રૂપ સંશોધન બાદ સંલયન સંશોધનમાં કુંતલાકાર ટોકામાક નામનું ઉપકરણ એ મહત્વની સંકલ્પના બની ગયું (આકૃતિ ૨). એ સમય બાદ ટોકામાકે અનેક સીમાચિહ્નો પાર કર્યા છે. સંલયન માટે ઈંધણનાં અખતરાઓમાં ડ્યુટેરીયમ તથા ટ્રીટીયમ, જે બંને હાઈડ્રોજનના સમસ્થાનિકો છે, તેની શરૂઆત ટોકામાક ફ્યુઝન ટેસ્ટ રિએક્ટર (TFTR) પ્રિન્સ્ટન, અમેરિકા, તથા જોઈન્ટ યુરોપિયન ટોરસ (JET), કલહમ, ઈંગ્લેન્ડમાં ૧૯૯૦નાં દશકા માં થઈ (આકૃતિ 3A તથા 3B). JET સંયંત્રમાં આંતરરાષ્ટ્રિય સહયોગથી ૧૯૯૧માં વિશ્વમાં પ્રથમ વખત સંલયન ઊર્જા મેળવવામાં સફળતા મળી. JET તથા TFTRમાં અલ્પ પ્રમાણમાં સંલયન ઊર્જા પ્રાપ્ત થઈ શકી હતી, જ્યારે ટોર સુપ્રા ટોકામાકમાં ઘણા લાંબા સમય સુધી પ્લાઝમા ને બંધિત અવસ્થા માં રાખવાની સિદ્ધિ હાંસલ થઈ. ટોર સુપ્રા ટોકામાક ફ્રાંસ નાં કેડારાશ નાભિકીય સંશોધન કેન્દ્ર માં અવસ્થિત છે. ત્યાર બાદ જાપાનમાt TRIAM-1M તથા અન્ય સંલયન મશીનોમાં પણ આ સિદ્ધિ હાંસલ થઈ. આપણે એ નોંધીશું કે જાપાનનાં JT-60 ટોકામાક માં સંલયન ઊર્જા માટે આવશ્યક ત્રણ ચાવીરૂપ પરિમાણ - પ્લાઝમા ની ઘનતા, તાપમાન તથા બંધકાવાસ્થા સમયનાં ઉચ્ચતમ મૂલ્યો મેળવવામાં સફળતા મળી હતી. એ જ દરમિયાન અમેરિકાનાં સંલયન અનુષ્ઠાનો કરોડો ^{0}C તાપમાન પ્રાપ્ત કરવામાં સફળ થયા હતા.

ભારતમાં ગાંધીનગર, ગુજરાત, ખાતે બે ટોકામાકનું નિર્માણ પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન (Institute for Plasma Research) માં કરવામાં આવેલ છે, જેનો ઉપયોગ ઉષ્મા સંલયન રીએક્ટરમાં થતી મૂળભૂત પ્રક્રિયાઓ અને ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરવામાં થાય છે. આદિત્ય દેશનું સર્વ પ્રથમ સ્વદેશી બનાવટ નું ટોકામાક

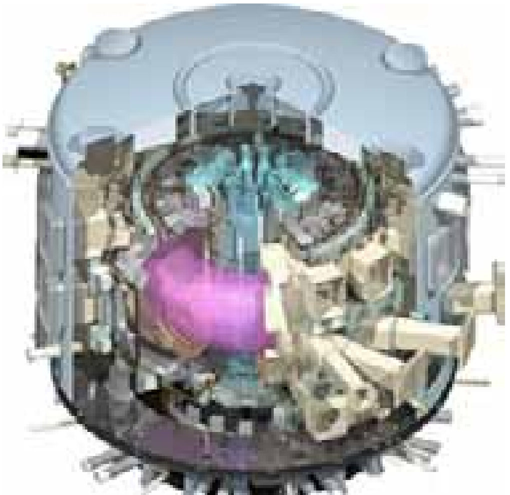
આકૃતિ 3A :



આકૃતિ 3B : જોઈન્ટ યુરોપિયન ટોરસ

આકૃતિ ૪A : આદિત્ય

આકૃતિ ૪B : એસ એસ ટી-૧



આકૃતિ ૫ : ITER ટોકામાક નો આડછેદ. શૂન્યાવકાશ પાત્રમાં કુન્તલાકાર નળીમાં પ્લાઝમા પણ દર્શાવેલ છે.

છે, જે મધ્યમ આકાર નું છે અને ૧૯૮૯થી કાર્યરત છે (આકૃતિ-4A). બીજું ટોકામાક છે SST-૧, અર્થાત્ Steady State Superconducting Tokamak (આકૃતિ-4B). આ એક દ્વિતીય શ્રેણીનું મશીન છે, જે પ્લાઝમા એક હજાર સેકંડ સુધી જાળવી શકે છે. તે ૨૦૧૩ સાલ માં કાર્યરત થયું.

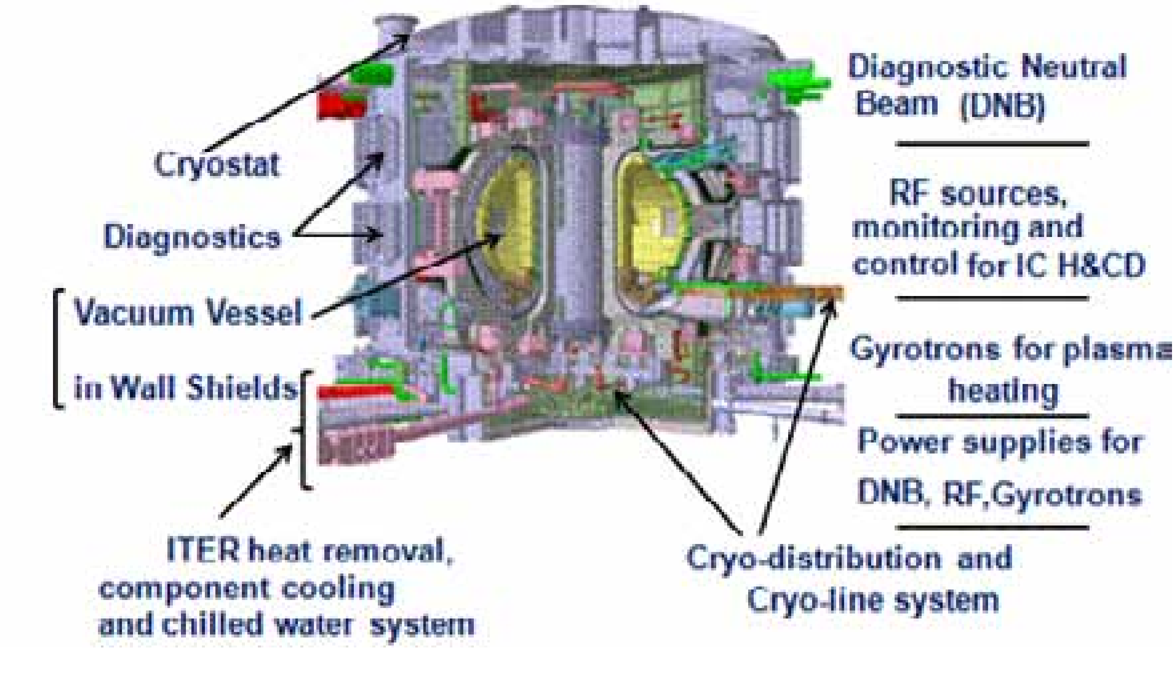
ITERનો લક્ષ્યાંક: Q ≥ 10

ITER એક મહાકાય વૈજ્ઞાનિક પ્રયોગ છે **(આકૃતિ ૫)**, જેનો ઉદ્દેશ્ય ટેકનોલોજીનું નિદર્શન અને સંલયન ઊર્જા ઉત્પન્ન કરવા માટેની વૈજ્ઞાનિક સંભાવનાઓ ચકાસવાનો છે. આ પ્રયોગ નો લક્ષ્યાંક છે Q ≥ 10. આ સૂત્રમાં Q સંલયન પ્રક્રિયા માં ઉત્પન્ન થતી (પ્રદાન) ઊર્જા તથા સંલયન પ્રક્રિયા શરૂ કરવા

માટે ખર્ચ કરવી પડતી (આદાન) ઊર્જાનો ગુણોત્તર દર્શાવે છે. Q ≥ 10 ITER યોજના નું વૈજ્ઞાનિક લક્ષ્ય દર્શાવે છે, જેનો અર્થ છે જેટલી ઊર્જાનો ITER સંયંત્ર માં ખર્ચ થાય છે તેનાથી દશ ગણી વધુ ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવી.

કોઈ પણ ઊર્જા સંયંત્રમાં આદાન ઊર્જા કરતાં પ્રદાન ઊર્જા વધારે ઉત્પન્ન થાય તે અગત્ય નું છે. પરંતુ જ્યારે આદાન ઊર્જા તથા પ્રદાન ઊર્જા બંને નાં મૂલ્ય સરખા થાય ત્યારે તે અવસ્થા ને "બ્રેક ઈવન પોઈન્ટ" કહેવામાં આવે છે. JET, TFTR તથા JT-૬૦ સંયંત્રો માં વૈજ્ઞાનિકો બ્રેક ઈવન પોઈન્ટ નજીક ઘણા સમય પહેલા પહોંચી ચુક્યા છે. આગળ જણાવ્યા મુજબ ITER નો ઉદ્દેશ્ય છે સંલયન આરંભ કરવા માટે ખર્ચાતી ઊર્જા કરતાં દશ ગણી ઊર્જા પેદા કરવી. ૫૦ MW (મેગાવોટ) આદાન ઊર્જા માટે ITER 500 MW (મેગાવોટ) જેટલી ઊર્જા પેદા કરશે. જો બધા સારા વાના થાય તો ITER ૨૦૨૭ માં કાર્યરત થવાની વકી છે. આમ, ITER આપણ ને ૨૦30 સુધી માં DEMO નામ નાં એક નિદર્શન પાવર પ્લાન્ટ તરફ દોરી જશે, જેના દ્વારા વાણિજિયક વિદ્યુત ઊર્જા પ્રાપ્ત થઈ શકશે. વિશ્વમાં અન્ય સંલયન સંયંત્રોમાં સંશોધનો તો ચાલુ જ રહેશે. આ સદી નાં મધ્ય સુધીમાં DEMOની સંલયન ઊર્જા પાવર ગ્રીડમાં મોકલાવાની સંભાવના છે. આશા છે કે આ સદીના છેલ્લા ભાગ માં સંલયન યુગનો પ્રારંભ થશે.

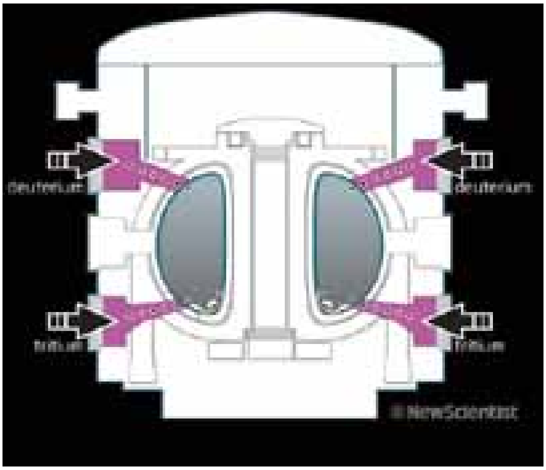
ITERનાં નિર્માણમાં આજે દુનિયાની અડધી આબાદી પ્રતિનિધિત્વ કરી રહી છે! ITER પરિકલ્પના નો જન્મ તો ૧૯૮૫માં થયો હતો, પરંતુ ઔપચારિક રીતે તેનો પાયો નાંખવામાં આવ્યો ૨૪ ઓક્ટોબર ૨૦૦૭નાં રોજ. તે દિવસે ચીન, ભારત, જાપાન, કોરિયા, રશિયા, અમેરિકા અને યુરોપીય સંઘ વચ્ચે ITER પરિયોજના માટે સંધિ થઈ હતી. જો કે તેનાથી ૨૦ વર્ષ પહેલા, એટલે ૧૯૮૮માં સૈદ્ધાંતિક રચના પર કાર્ય શરૂ થયેલ. ITERની અંતિમ ડીઝાઈનને મંજૂરી મળી હતી ૨૦૦૧ માં. ITERનું નિર્માણ ૨૦૨૦ સુધી પૂર્ણ થવાની શક્યતા છે.



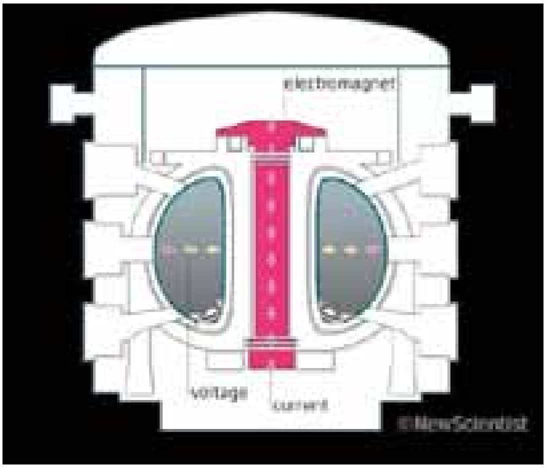
આકૃતિ ૬ : ITER ટોકામાકમાં ભારતનું પ્રદાન

ITER કઈ રીતે કાર્ય કરે છે.

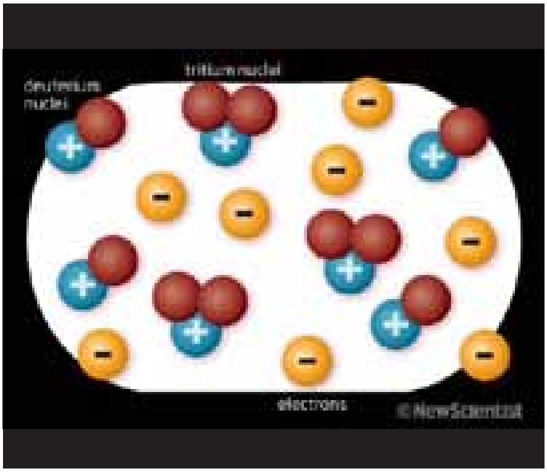
આ વિભાગ માં ITER કઈ રીતે વિભિન્ન ચરણોમાં માં કાર્ય કરે છે તેનું વર્ણન આપણે કરીશું.



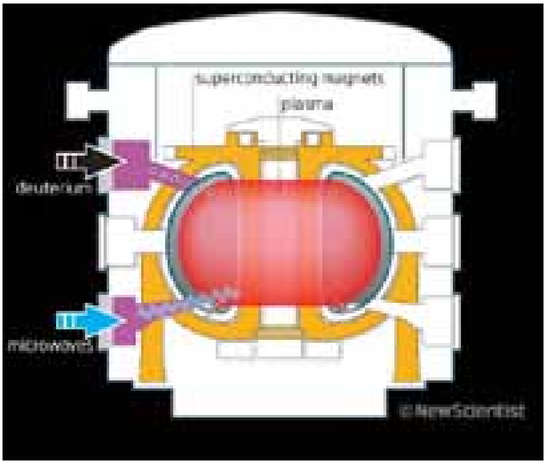
ચરણ ૧ : ટોકામાક નામના વલયાકાર હવાચુસ્ત વાસણમાં ડ્યુટેરીયમ અને ટ્રીટીયમ વાયુના થોડા જથ્થાને દાખલ કરવામાં આવે છે. વાયુનું દળ ટપાલ ટીકીટ કરતા પણ હલકું હોય છે અને આથી ઓલીમ્પિકનાં સ્વીમીંગ પૂલનાં ત્રીજા ભાગ જેટલું કદ ભરાઈ જાય!



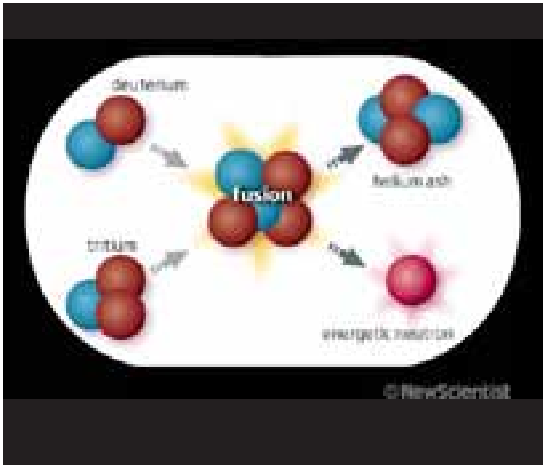
ચરણ ૨ : વિદ્યુતચુંબકો (કેન્દ્રીય સોલેનોઇડ) માં વિદ્યુત પસાર કરતાં વાયુમાં વોલ્ટેજ ઉત્પન્ન થાય છે.



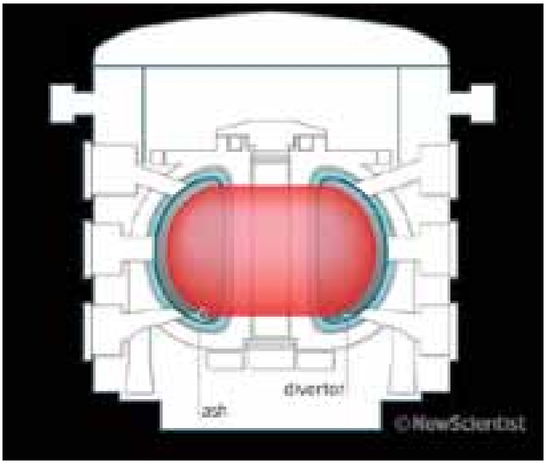
ચરણ 3 : વોલ્ટેજ ને લીધે ડ્યુટેરીયમ તથા ટ્રીટીયમ પરમાણુમાંથી ઈલેક્ટ્રોન છુટા પડે છે. આમ, થોડી માઈક્રોસેકંડમાં જ ઈલેક્ટ્રોન તથા આયનનો એક સૂપ તૈયાર થાય છે, જે "પ્લાઝમા" છે.



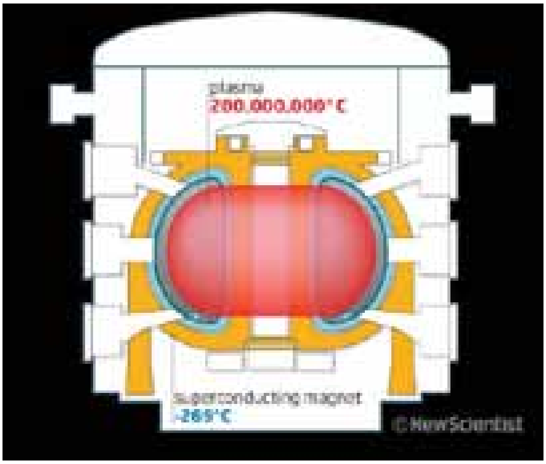
ચરણ ૪ : અતિવાહક ચુંબકીય ગૂંચળાની હારમાળાથી પેદા થતાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર દ્વારા શૂન્યાવકાશવાળા વાસણમાં પ્લાઝમાને બંધિત કરવામાં આવે છે. ચુંબકીય ગૂંચળાઓ પ્લાઝમામાં વીજ પ્રવાહ પેદા કરે છે, અને તેને બંધિત પણ કરે છે. આથી પ્લાઝમાનું તાપમાન ૧ કરોડ ^{0}C સુધી પંહોચી જાય છે. પરંતુ હજુ આ તાપમાન સંલયન પ્રક્રિયા માટે પૂરતું નથી.



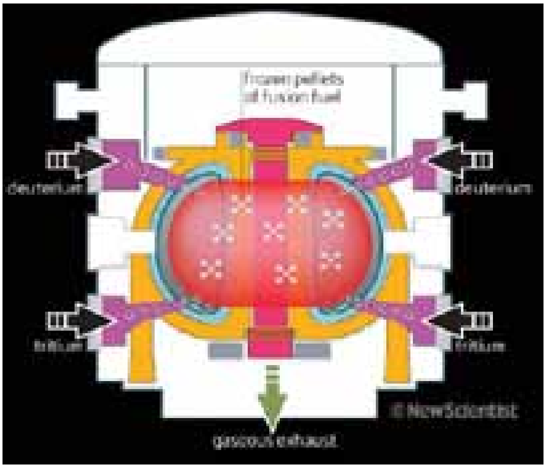
ચરણ ૫ : તાપમાન વધારવા વૈજ્ઞાનિકો પ્લાઝમા માં રેડિયો અને સૂક્ષ્મ તરંગો તથા ઉચ્ચ શક્તિશાળી ડ્યુટેરિયમ અણુઓના પુંજ દાગે છે. આથી પ્લાઝમા નું તાપમાન ૧૦-૨૦ કરોડ ^{0}C સુધી પહોંચે છે, જે ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રીટ્રીયમ નાભિનાં સંલયન માટે પૂરતું છે.



ચરણ ૬ : સંલયન પ્રક્રિયાથી ઉચ્ચ શક્તિશાળી ન્યુટ્રોન અને હિલીયમ કણો ઉત્પન્ન થાય છે. તેઓ પોતાની ઉર્જા પ્લાઝમા માં ભેગી કરીને "રાખ" થતાં પહેલા તેને ગરમ રાખે છે. ડાઈવરટર મારફતે તુરંત જ રાખ ને દબાણપૂર્વક બહાર કરવામાં આવે છે.



ચરણ ૭ : પ્લાઝમા ઘટકો ધરાવતી લાદી પર ન્યુટ્રોન અને અન્ય કણો મારો કરી તેને ગરમ કરે છે. ભવિષ્યનાં પાવરમથકોમાં આ ગરમી વડે વીજળી પેદા કરી શકાશે. અતિવાહક ચુંબકોને નિરપેક્ષ શૂન્ય નજીકનાં તાપમાને રાખવામાં આવે છે. પ્લાઝમાના મધ્યભાગ તથા ચુંબકો દરમિયાન મહત્તમ એવો તાપમાનમાં થતો ફેરફાર જોવા મળે છે - નિરપેક્ષ શૂન્યથી લગભગ ૨૦ કરોડ અંશ સેલ્સિયસ સુધી!



ચરણ ૮ : પ્રક્રિયાને ચાલુ રહે તે માટે પ્લાઝ્માને સતત ડ્યુટેરિયમ અને ટ્રીટીયમ ઇંધણનો પૂરવઠો ચાલુ રાખવો આવશ્યક છે. દહન પામ્યા વગરનું ઇંધણ વાયુ સ્વરૂપે પરત મેળવવામાં આવે છે, અને સંલયનને ઇંધણની થીજેલી પતરીઓનો (pellet) પ્લાઝમામાં ઊંડે સુધી મારો કરીને પ્રક્રિયા ને લયબદ્ધ કરવામાં આવે છે.

ITER પરિયોજનામાં ભારત નું પ્રદાન

ITERનું નિર્માણ સહભાગી દેશો તરફથી મહદ અંશે જે-તે દેશ માં નિર્મિત અલગ-અલગ પ્રણાલી તથા સામગ્રીનાં પ્રદાન દ્વારા કરવામાં આવશે. આ સામગ્રી જે-તે દેશ ITERનાં નિર્માણ સ્થળ પર પહોંચતી કરશે અને સ્થાપિત પણ કરશે. ગાંધીનગર, ગુજરાતમાં ITER-India નામની ભારતીય સંસ્થાની સ્થાપના કરવામાં આવી છે, જેનું દાયિત્વ ITER માટેની વિવિધ સામગ્રીનો વિકાસ કરી તેનું નિર્માણ કરવાનું છે. ભારત લગભગ ૫૦ કરોડ ડોલર જેટલી સામગ્રી ITER પરિયોજના માટે પૂરી પાડશે (આકૃતિ-૬), અને ત્યાર બાદ ITERનાં સંચાલન તથા પ્રયોગો માં પણ સહભાગી થશે. વિશેષતઃ ભારત એક સ્ટેનલેસ સ્ટીલ નું ક્રાયોસ્ટેટ બનાવશે, જે ITERનું બાહ્ય નિર્વાત આવરણ હશે. આનો વ્યાસ ૨૮ મીટર અને ઊંચાઈ ૨૬ મીટર હશે. નિર્વાત પાત્રના કવચ ૨% બોરોન સ્ટીલ નાં હશે જે પાત્ર ની બંને દીવાલ ની વચ્ચે અવસ્થિત હશે. આ સામગ્રીની ડિઝાઈન અને નિર્માણ પણ ભારત માં જ થશે. ભારત આઠ ૨.૫ MW (મેગાવોટ) ક્ષમતાવાળા આયન સાઈક્લોટ્રોનનાં પ્લાઝામાને ગરમી આપવાના સ્રોત પણ બનાવશે, જે પ્લાઝમા ને ગરમ કરશે. સાથે પાવર પ્રણાલી અને કંટ્રોલ પણ બનાવશે. ભારત એક ડાઈગ્નોસ્ટીક ન્યુટ્રલ બીમ પ્રણાલી પણ બનાવશે, જે ITERની અંદર દહન થતાં પ્લાઝમા વિષે મહત્વની માહિતિ આપશે. છેલ્લે ભારત ક્રાયો-વિતરણ અને જળશીતક ઉપપ્રણાલી નું પણ નિર્માણ કરશે.

ITER અને ત્યાર બાદ

ITER પરિયોજના નો એક હેતુ છે નિયંત્રિત ઉષ્મા નાભિકીય સંલયન વિષે જરૂરી જાણકારી મેળવવી જેથી કરીને બીજા તબક્કામાં એક ડેમોન્સ્ટ્રેશન સંલયન પાવર પ્લાન્ટની રચના તથા તેનું નિર્માણ સંભવ બને. ITER દ્વારા વૈજ્ઞાનિકો તેની પશ્ચાત્ તૈયાર થનારા સંલયન સંયંત્રમાં કઈ જાતની પરિસ્થિતિ હશે તેના વિષે અનુમાન કરી શકશે. મહત્વની વાત તો એ છે કે ITER ચોખ્ખી ઊર્જા ઉત્પન્ન કરતું પ્રથમ સંલયન સંયંત્ર હશે, જે ૨૦૨૭માં કાર્યરત થઈ જશે. ITER પ્લાઝમા ને ગરમ કરવા ઉપરાંત કંટ્રોલ, ડાઈગ્નોસ્ટીકસ તથા પ્રણાલી નો દૂરવર્તી રખરખાવ (maintainance) જેવી અને અન્ય ટેકનોલોજીની પણ ચકાસણી કરશે. ITER એટલે કંઈ આપણી વાર્તાનો અંત નથી. સંલયન દ્વારા મોટા પાયા ઉપર વિદ્યુત ઊર્જા ઉત્પન્ન કરતા નિદર્શન સંયંત્ર અને સંલયન માટે ઈંધણમાં આવશ્યક એવા ટ્રીટીયમનાં સ્વાવલંબન તરફ દોરી જતો સેતુ એટલે ITER છે. ITER પછીના બીજા ચરણ માં નિદર્શન પાવર પ્લાન્ટ DEMO સાકાર થશે, જેની સૈધ્ધાંતિક રચનાની સંકલ્પના ૨૦૧૭ સુધીમાં પૂરી થવાની શક્યતા છે. બધું જ જો અપેક્ષા પ્રમાણે થાય તો DEMO સંલયનને ઔદ્યોગિક યુગમાં દોરી જશે, અને સંલયન ઊર્જા ૨૦૪૦ સુધીમાં ગ્રીડ માં દાખલ થઇ જશે, એટલે કે આ સદીના મધ્ય ભાગ માં.

ITERનું અત્યારે નિર્માણ થઈ રહ્યું છે જ્યારે DEMO હજુ સૈધ્ધાંતિક અવસ્થામાં જ છે. પરંતુ દુનિયા માં ઘણા બધા સંલયન સંયંત્રો અલગ-અલગ પાસાઓનાં અભ્યાસ માટે અને વિવિધ હેતુઓ સાથે ITER માટેના પૂરક સંશોધનમાં વ્યસ્ત છે અને રહેશે. સદીના છેલ્લા ચતુર્થાંશમાં જો ITER અને DEMO સફળ થાય તો વિશ્વ સંલયન યુગ માં પ્રવેશ કરશે. અને ત્યારે આપણી મોટા ભાગ ની ઊર્જાની જરૂરિયાત, પર્યાવરણની જાળવણી કરતાં અને સાર્વભૌમિક રીતે ઉપલબ્ધ એવા સંસાધન દ્વારા પૂરી થશે.

ITER હકીકત અને આંકડાઓ

ITER નાં વલયાકાર ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટે નીઓબિયમ ટીન (Nb_3Sn)ના અતિવાહક તારોની જરૂર પડે છે, જેની લંબાઈ ૧,૦૦,૦૦૦ કિમી જેટલી થશે, આટલા લાંબા તાર વડે વિષુવવૃત્ત ફરતે બે આંટા લગાવી શકાય.
ITER મશીન નું વજન ૨૩,૦૦૦ ટન જેટલું હશે,અને તે ત્રણ એફિલ ટાવર જેટલું ભારે હશે.
ITER ટોકામાક અત્યાર સુધીનું સૌથી મોટું બાંધકામ હશે. જેમાં ૮૪૦ ઘનમીટર જેટલો પ્લાઝમા ભરેલો હશે. હાલમાં વપરાતા ટોકામાકમાં મહત્તમ ૧૦૦ ઘનમીટર જેટલો પ્લાઝમા હોય છે.
૨૦૧૮-૧૯ માં બાંધકામ ની ચરમસીમા એ ITER માં ૫૦૦૦ માણસો કામ કરતાં હશે.
પરિવહનના સાધન સાથે સૌથી ભારે પ્રણાલીનું વજન લગભગ ૯૦૦ ટન જેટલું હશે. સૌથી મોટી પ્રણાલીની ઊંચાઈ ચાર માળ ની ઈમારત અથવા ૧૦.૬ મીટર જેટલી ઊંચી હશે.
ITER ટોકામાક ની ૧૮ D આકાર ની ટોરોઈડ ક્ષેત્રની પ્રત્યેક કોઈલનું વજન ૩૬૦ ટન હશે, જે પૂર્ણપણે ભરેલ ૭૪૭-300 બોઇંગ હવાઈ જહાજ જેટલું હશે. દરેક ગૂંચળું ૧૪ મીટર ઊંચું અને ૯ મીટર પહોળું હશે.
ITERની રચના એવી છે કે જે ૫૦ MW આદાન પાવર માટે ૫૦૦ MW પ્રદાન પાવર ઉત્પન્ન થાય, અર્થાત વ્યય થતી ઊર્જા કરતાં ૧૦ ગણી વધુ ઊર્જા પેદા થાય. હાલ નો રેકોર્ડ ૧૬ MW સંલયન પાવર પેદા કરવાનો JET ટોકામાક નો છે, જે કુલ્હામ, ઈંગ્લેન્ડમાં અવસ્થિત છે.
આપણા સૂર્ય ની સપાટીનું ઉષ્ણતામાન ૬,૦૦૦ °C જેટલું અને ગર્ભ માં ૧.૫ કરોડ ડીગ્રી સેલ્સિયસ જેટલું ઊંચુ હોય છે. સૂર્યનાં ગર્ભમાં ઘનતા અને તાપમાનની સંયુક્ત અસર થી સંલયન પ્રક્રિયા થવા માટેની જરૂરી શરતો સર્જાય છે. પૃથ્વી ઉપર આવા ગુરુત્વાકર્ષીય બળો પેદા ન થઇ શકે અને આથી ખૂબ જ ઊંચા તાપમાન ની જરૂર પડે છે. ITER ટોકામાકમાં તાપમાન ૧૫ કરોડ ડીગ્રી સેલ્સિયસ જેટલું અથવા આપણા સૂર્યના ગર્ભ નાં તાપમાનથી ૧૦ ગણુ વધારે હશે.
૧૮૦ હેક્ટર ક્ષેત્રફળમાં વ્યાપ્ત ITER માટેના સ્થળ ની વિશેષતા એ છે કે ૨૦૦૯માં તૈયાર થયેલ ૪૨ હેક્ટર નું સમતલ પ્લેટફોર્મ પૂર્ણ પણે માનવનિર્મિત છે, જે ૧ કીલોમીટર લાંબુ અને ૪૦૦ મીટર પહોળું અને ૬૦ ફૂટબોલનાં ગ્રાઉન્ડ જેટલું મોટું છે.
ટોકામાક ભવનની ઊંચાઈ જમીનથી ૬૦ મીટર ઉપર અને જમીન નીચે ૧૩ મીટર છે. તે ITER સ્થળ નું ઊંચામાં ઊંચું માળખું હશે.
ITER પ્રોજેક્ટનો ખર્ચ ૧૩ અબજ યુરો જેટલો આવશે અને ૧૦વર્ષ માં બાંધકામ પૂર્ણ થશે. આ ખર્ચ ITER નાં સાત સભ્યો ભોગવશે. રોકડા પૈસા આપવાના બદલે મોટા ભાગ ની પ્રણાલીઓ કે પૂર્જાઓ સભ્યો પોતે જ બનાવીને આપશે.

સંદર્ભ

1. www.iter.org - website of ITER
2. New Scientist (09 October 2009) including Images in How ITER Works Steps 1-8.
3. www.iter-india.org

પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન : એક પરિચય

પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન (ઇન્સ્ટિટયુટ ફોર પ્લાઝમા રિસર્ચ- આઈ.પી.આર.) ભારત સરકારના પરમાણુ ઊર્જા વિભાગનું એક સ્વાયત્ત સંસ્થાન છે. પ્લાઝમા ફિઝિક્સ પ્રોગ્રામ (પીપીપી) સને ૧૯૮૨ માં ભૌતિક અનુસંધાન પ્રયોગશાળા (ફિઝિકલ રીસર્ચ લેબોરેટરી - પી.આર.એલ.), અમદાવાદ, ખાતે શરૂ થયો. આઈ.પી.આર. આજે પ્લાઝમા અનુસંધાનના ક્ષેત્રમાં અગ્રણી કેન્દ્ર છે. અહીંના વૈજ્ઞાનિકોના અથાગ પ્રયાસ, પરિશ્રમ અને સમર્પણને લીધે પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનને પ્લાઝમા વિજ્ઞાન માં સંશોધન ક્ષેત્રે કાર્યરત વિશ્વનાં સંસ્થાનો માં વિશેષ દરજ્જો પ્રાપ્ત થયેલ છે. વર્ષ ૧૯૮૨-૮૩માં પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનમાં "આદિત્ય ટોકામાક" નામના સર્વપ્રથમ સ્વદેશી મશીનનાં નિર્માણનું કાર્ય શરૂ થયું. ૧૯૮૪થી પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાને તેના વર્તમાન પરિસરમાં, સાબરમતી નદી કિનારે ભાટ ગામની પાસે કાર્ય શરૂ કર્યું. પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનનાં વૈજ્ઞાનિકોએ તથા ઈજનેરોએ લગભગ ૬ વર્ષ નાં અથાગ પ્રયત્નો પછી ૧૯૮૯માં આદિત્ય મશીનને સ્થાપિત કર્યું.

પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનની સ્થાપનાનો ઉદ્દેશ્ય તો વિશ્વભરમાં ઘટતા જતા ઊર્જાનાં સ્રોતો ની સાથે સંબંધ ધરાવે છે. જેમ જેમ સભ્યતાનો વિકાસ થતો ગયો, તેમ તેમ મનુષ્યજાતિએ વધુ ને વધુ ઊર્જાનો ઉપભોગ કરવો શરૂ કર્યો, પરંતુ ઊર્જાના સ્રોતો સીમિત હોવાને લીધે માનવને પોતાના અસ્તિત્વની ચિંતા સતાવવા લાગી. ઊર્જાના સ્રોતોનો આ જ રીતે ઉપયોગ થતો રહે તો એ ઘડી દૂર નહિ હોય કે જ્યારે માનવ ને ભયંકર ઊર્જાના સંકટ નો સામનો કરવો પડે. માનવની આ ચિંતાના પરિણામે આખા વિશ્વને, ખાસ કરીને વિકસિત દેશોને, ઊર્જાના નવા સ્રોતોની શોધખોળ કરવા માટે પ્રેરિત કર્યા.

જાણે આ વાતમાં તો કોઈ સંદેહ નથી કે માનવ જાતિ નું ધ્યાન સૌથી પહેલા સૂર્ય તરફ ગયું. વૈજ્ઞાનિકોના કહેવા પ્રમાણે સૂર્ય આપણને છેલા કેટલાય લાખ વર્ષોથી ઊર્જા આપી રહ્યો છે, અને આ જ રીતે લાખો વર્ષો સુધી ઊર્જા પ્રદાન કરતો રહેશે. સૂર્યનો લગભગ અડધો જીવનકાળ તો પૂરો થઈ ગયો છે; અને આમ જેટલા વર્ષોથી સૂર્ય આપણને ઊર્જા પ્રદાન કરી રહ્યો છે, એટલા જ વર્ષો સુધી ભવિષ્ય માં પણ ઊર્જા પ્રદાન કરતો રહેશે! સૂર્યથી આપણને મળતી ઉષ્ણતા કેટલી પ્રચંડ માત્રામાં હોય છે તેનો અનુભવ તો એક જ વાતથી થઈ શકે કે પૃથ્વીથી ૧૫ કરોડ કિલોમીટર દૂર હોવા છતાં સૂર્ય આપણ અને એટલી ઊર્જા આપે છે કે આપણને ઉનાળામાં પાંચ મિનિટ માટે પણ તડકામાં ઊભા રહેવું અશક્ય થઈ જાય છે! આવા શક્તિશાળી ઊર્જાનાં સ્રોત તરફ વૈજ્ઞાનિકોનું ધ્યાન જવું તો સ્વાભાવિક જ હતું.

પ્લાઝમા શું છે?

પ્લાઝમા એ ગેસ કે કોઈ પદાર્થનું આયનીકૃત સ્વરૂપ છે. આ અવસ્થાને પદાર્થની ચોથી અવસ્થા પણ કહેવામાં આવે છે - ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ પછી. પરંતુ ખરેખર તો પ્લાઝમા પદાર્થની પ્રથમ અવસ્થા છે. પદાર્થનાં અન્ય સ્વરૂપો અસ્તિત્વમાં આવ્યા પહેલા પણ પ્લાઝમા નું અસ્તિત્વ હતું. ૯૯% જેટલું વિશ્વ પ્લાઝમાનું બનેલું છે! રોજીંદા જીવનમાં ટ્યુબલાઇટ, સૂર્ય અને અવકાશી પ્લાઝમા નો આપણે અનુભવ કરીએ છીએ. આમ તો કોઈ પણ આયનીકૃત ગેસને પ્લાઝમા કહી શકાય, પરંતુ સંલયન પ્રક્રિયામાં ઉપયોગ માં આવતા ટોકામાક કક્ષાનાં પ્લાઝમાનાં વિશિષ્ટ ગુણધર્મો હોય છે. ટોકામાક કક્ષાનાં પ્લાઝમામાં તેની ઘનતા 10^{-10} g/cm^3 અને ઉષ્ણતામાન 10 KeV જેટલું હોય છે. 1 KeV એટલે 12,000 ^0C જેટલું તાપમાન થાય, આ ઉપરાંત કેટલાક અન્ય પ્રાચલો પણ (પેરામિટર) હોય છે, જેથી પ્રયોગશાળા કે સંલયનકક્ષાનાં પ્લાઝમાની ઓળખ થાય છે. તેમાનો એક પ્રાચલ છે: "ડિબાય લંબાઈ" (Debye length). ડિબાય લંબાઈ એ અંતર છે જે પ્લાઝમાનાં આયનો અન્ય કણો સાથે અથડાયા વગર ગતિ કરે.

સૂર્યનો ઊર્જા સ્રોત

વીસમી સદીના આરંભમાં જ વૈજ્ઞાનિકોને જાણકારી પ્રાપ્ત થઈ હતી કે સૂર્યની ઊર્જાનો સ્રોત નાભિકીય ઊર્જા છે! હાઈડ્રોજન ની બે નાભિઓ આપસ માં એકત્ર થઇને હિલિયમની નાભિનું સર્જન કરે છે. હાઈડ્રોજનની બે નાભિઓ તથા હિલિયમ ની એક નાભિ વચ્ચે દળનો જે તફાવત હોય છે તે આઇન્સ્ટાઇનનાં પ્રસિદ્ધ દળ-ઊર્જાના સંબંધ $E=mc^2$ અનુસાર ઊર્જા માં પરિવર્તિત થઇ જાય છે, અને આ રીતે સૂર્ય ની જેમ જ પૃથ્વી પર પણ આવો સ્રોત બનાવવા માટે ની આકર્ષક પરંતુ કઠીન યાત્રાનો પ્રારંભ થયો. એક ધારણા અનુસાર પ્લાઝમા (સંલયન રીએક્ટર) દ્વારા ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવાનો પ્રયોગ સફળ થાય તો ભવિષ્ય નાં એક હજાર વર્ષો સુધી તો માનવ જાતિની ઊર્જાની જરૂરિયાતો સંતોષી શકાશે! પરંતુ એક કહેવત છે કે જે ચીજ જેટલી મૂલ્યવાન હોય છે તે પ્રાપ્ત કરવા માટે તેટલો જ વધુ પ્રયત્ન પણ કરવો પડે છે.

પ્લાઝમા પરના સંશોધન કાર્ય નો આરંભ ૧૯૪૦નાં દશકાથી થયો. શરૂઆતમાં તો નાની-નાની મશીનો પર જ કાર્ય થતું. પ્લાઝમા પર કાર્ય કરનારા શરૂઆત માં વૈજ્ઞાનિકો માં મુખ્ય હતા પીટર થોનમાન, જ્યોર્જ પી. થોમસન (જે.જે.થોમસન નાં પુત્ર), એલન વેર, જ્યોર્જ રોબર્ટ કેરુથર્સ તથા દાવેનપોર્ટ.

આદિત્યઃ ભારતનું પ્રથમ સ્વદેશી ટોકામાક

લગભગ બે દશકાઓ સુધી પ્લાઝમા પર સંશોધન કાર્ય ચાલતું રહ્યું. આ દરમિયાન ઘણા ઉતાર-ચઢાવ આવ્યા, પરંતુ વીસ વર્ષ નાં પ્રયત્નો ને અંતે એક વાત તો સાબિત થઇ ગઈ કે પૃથ્વી પર કૃત્રિમ સૂર્ય ઉત્પન્ન કરવો સહેલી વાત તો નથી! પરંતુ પ્લાઝમા વૈજ્ઞાનિકો હિંમત હાર્યા નહી. ૧૯૬૦નાં દસકામાં લેવ આર્તસિમોવીચ નાં નેતૃત્વ હેઠળ સોવિયેટ સંઘ નાં વૈજ્ઞાનિકોને એક કરોડ કેલ્વીન તાપમાનવાળો પ્લાઝમા ઉત્પન્ન કરવામાં સફળતા મળી. આ ઉપલબ્ધિ ખરેખર ખૂબ ઉત્સાહવર્ધક હતી, અને આ રીતે સોવિયેટ સંઘ માં (હાલનું રશિયા) ટોકામાક મશીનનો જન્મ થયો. ટોકામાક મશીનમાં પ્લાઝ્માને સારી રીતે નિયંત્રિત કરી શકાય છે. ટોકામાક સાઈકલની ટ્યુબ જેવા આકાર નું હોય છે, જેની ઉપરથી ચુંબકીય તારોના ગૂંચળાને લપેટીને ટ્યુબનાં અક્ષની દિશામાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર પેદા કરવામાં આવે છે, જેને ટોરોઈડ ચુંબકીય ક્ષેત્ર કહે છે, આથી પ્લાઝમા ને નિયંત્રિત કરવો સરળ થાય છે. આ

આકૃતિ ૧ : પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનનું આદિત્ય ટોકામાક

મશિનની કાર્ય પ્રણાલી જો કે ખુબ જટિલ છે!

પ્લાઝમા ક્ષેત્રમાં વિશ્વના વિકસિત દેશોમાં ચાલી રહેલ સંશોધનોથી ભારત પણ અપ્રભાવિત ન રહ્યું, અને ૧૯૮૯માં આદિત્ય મશિનની સ્થાપના અને તેની પર આરંભ થયેલા પ્રયોગો ભારત દ્વારા આ દિશામાં લેવામાં આવેલ પ્રથમ ચરણ હતું **(આકૃતિ-૧)**. પ્લાઝમા ગેસ નું આયનીકરણ થયેલું સ્વરૂપ છે, જેમાં હાઈડ્રોજન કે તેના સમસ્થાનિકો (આઇસોટોપ) ડ્યુટેરિયમ તથા ટ્રિટીયમને આયનીકૃત કરવામાં આવે છે. હાઈડ્રોજન ગેસના પરમાણુમાં માત્ર એક ઈલેક્ટ્રોન હોય છે, આથી તેનું આયનીકરણ થતાં હાઇડ્રોજનનો કેવળ એક નાભિ બચે છે. ત્યાર બાદ હાઇડ્રોજનની બે નાભિઓને નજીક લાવીને નાભિકીય પ્રક્રિયા થાય છે. આમ, હાઈડ્રોજનની બે નાભિઓ એક સાથે આવીને હિલિયમની એક નાભિનું નિર્માણ કરે છે. જો કે, પૃથ્વી પર કરવામાં આવેલા પ્રયોગોમાં જે નાભિકીય પ્રક્રિયા સંભવ બને છે, તેમાં હાઇડ્રોજનના સ્થાને તેના બે

સમસ્થાનિકો, ડ્યુટેરિયમ તથા ટ્રિટીયમનો જ ઉપયોગ થાય છે, જે નિમ્નલિખિત પ્રક્રિયાથી સ્પષ્ટ થાય છે.

$2D_1 + {}^3T_1 \rightarrow {}^4He_2 + {}^1n_0 + 17.6$ MeV

આ નાભિકીય પ્રક્રિયામાં હિલિયમની નાભિની ઉપરાંત એક ન્યુટ્રોન પણ ઉત્સર્જિત થાય છે, જેની ગતિ ઊર્જા લગભગ 17.6 MeV જેટલી હોય છે. મુખ્યત્વે આ ઊર્જા ને નિયંત્રિત કરીને ઉપયોગ માં લાવવામાં આવે છે. આ નાભિકીય પ્રક્રિયાનો આરંભ કરવા ડ્યુટેરિયમ તથા ટ્રિટીયમ નાભિઓને શરૂઆતમાં આયનિત કરીને એમને પાસે લાવવામાં આવે છે. આ સંભવ થાય તે માટે પ્લાઝમાનું તાપમાન લગભગ ૧ કરોડ સેલ્સિઅસ જેટલું વધારવામાં આવે છે, જેથી બંને નાભિઓની ગતિજ ઊર્જા એટલી વધી જાય છે બે અતિ પ્રબલ એવા કુલમ્બના અપાકર્ષણ બળ પર પણ કાબુ મેળવીને બંને નજીક આવે છે અને આપસમાં મળીને હિલિયમની નાભિ ઉત્પન્ન થઇ શકે છે. આ બધી પ્રક્રિયાઓ ખૂબ જ જટિલ હોય છે. આજ કારણ છે જેથી પ્લાઝમા સંશોધન માં ઉપલબ્ધિઓ ખૂબ જ ધીમી ગતિએ પ્રાપ્ત થાય છે. પરંતુ પ્લાઝમા ક્ષેત્ર માં મળતી ઊર્જા નું પ્રમાણ એટલું ઊંચું હોય છે કે આ ઉપલબ્ધિઓ અત્યંત ધીમી ગતિ એ પ્રાપ્ત થવા છતાં ખૂબ ઉત્સાહવર્ધક હોય છે. આ જ ઉત્સાહને લીધે પ્લાઝમા ક્ષેત્રમાં કાર્યરત વૈજ્ઞાનિકો એક પછી એક પડકારો પર વિજય પ્રાપ્ત કરીને આગળ કૂચ કરી રહ્યાં છે. જો કે એ દિવસ એટલો નજીક નથી, પરંતુ એટલો દૂર પણ નથી જ્યારે માનવ સંલયન રિએક્ટર દ્વારા ઊર્જા પ્રાપ્ત કરશે અને ભવિષ્યમાં આવનારા સેંકડો વર્ષો સુધી તેને ઊર્જા વિશેની કોઇ ચિંતા નહી રહે. આમ, માનવના ભવિષ્ય પર પણ કોઇ પ્રશ્નચિહ્ન નહી રહે.

લગભગ છેલ્લા ૨૫ વર્ષોથી આદિત્ય ટોકામાક મશીન દ્વારા પ્રયોગો થઇ રહ્યા છે. પ્લાઝમાના તાપમાન, ઘનતા, વિદ્યુતપ્રવાહ ઇત્યાદિ પ્રાચલોના માપન માટે વિભિન્ન ઉપકરણો આદિત્ય ટોકામાકમાં સ્થાપિત કરવામાં આવ્યાં છે. સૌપ્રથમ પ્લાઝમાને ટ્રાન્સફોર્મર દ્વારા ગરમ કરવામાં આવે છે, જે ક્રિયા I^2R વિદ્યુત શક્તિ વડે થાય છે. જેમ જેમ પ્લાઝમાનું તાપમાન વધે છે તેમ તેમ તેનો અવરોધ $T^{-2}/3$ ના પ્રમાણમાન ઘટે છે. અહીં T તાપમાન દર્શાવે છે. આથી કોઇ ચોક્કસ તાપમાન પછી I^2R પ્રક્રિયા દ્વારા પ્લાઝમાને તપ્ત કરી શકાય નહીં. આવી અવસ્થામાં પ્લાઝમાને વધુ ગરમ કરવા માટે ઊર્જાના અન્ય સ્રોતનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે, જેમ કે, આયન સાઇક્લોટ્રોન રેઝોનન્સ હીટીંગ (ICRH), ઇલેક્ટ્રોન સાઇક્લોટ્રોન રેઝોનન્સ હીટિંગ (ECRH), લોઅર હાઇબ્રિડ કરંટ ડ્રાઇવ (LHCD) તથા ન્યુટ્રલ બીમ ઈંજેક્શન (NBI). આદિત્ય મશીનમાં 0.8 T જેટલી ટોરોઇડ ચુંબકિય તીવ્રતામાં ૧૦૦ મિલિસેકન્ડ સુધી 80-100 KA વિદ્યુત પ્રવાહ આપતો પ્લાઝમા નિયમિત રૂપે સર્જિત થાય છે. અહીં T ચુંબકીય ક્ષેત્રની તીવ્રતાનો એકમ છે. ($1T = 10^4$ ગૉસ). આ રીતે સર્જવામાં આવેલ પ્લાઝમામાં વિભિન્ન પ્રયોગ કરવામાં આવે છે. આ પ્રયોગોથી પ્લાઝમા અનુસંધાન ક્ષેત્રમાં માત્ર ભારતના જ નહી, પરંતુ આખા વિશ્વના વૈજ્ઞાનિકોને માટે રોચક જાણકારી પ્રાપ્ત થઇ છે.

સ્થિર અવસ્થા અતિચાલક ટોકામાક (એસએસટી-૧)

પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનનું બીજું એક અત્યાધુનિક ટેકનોલોજી પર આધારિત મશીન છે, સ્થિર અવસ્થા અતિચાલક ટોકામાક (**આકૃતિ ૨**), અર્થાત સ્ટેડી સ્ટેટ સુપર કંડકટીંગ ટોકામાક (એસએસટી-૧). સંલયન રિએક્ટરમાં ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવા માટે એ જરૂરી છે કે અપેક્ષાકૃત લાંબા સમય માટે તેને ચલાવી શકાય. ૧૯૯૦ સુધી જે ટોકામાક વિશ્વમાં નિર્મિત થયા તેમાં પ્લાઝમા અત્યંત ઓછા સમય માટે બનતો હતો. આનુ કારણ છે કે ચુંબકીય ક્ષેત્ર પેદા કરવા માટે જે કુંડલિઓ (કોઇલ)નો ઉપયોગ થતો હતો તે તાંબાની બનેલી હતી. તાંબાની બનેલી કોઇલ I^2R વિદ્યુતશક્તિને કારણે ખૂબ જલ્દી ગરમ થઇ જતી હતી, કારણ કે આવી કોઇલમાં વિદ્યુતપ્રવાહ ખૂબ વધુ પ્રમાણમાં ઉષ્ણતા પેદા કરે છે. આ સમસ્યાને હલ કરવા માટે વૈજ્ઞાનિકોએ અતિચાલક અર્થાત્ સુપર કંડક્ટરનો સહારો લીધો આવા અતિ ચાલકનો અવરોધ એક

વિશિષ્ટ તાપમાનની નજીક (જેને ક્રાંતિ તાપમાન કહે છે) લગભગ શૂન્ય થઇ જાય છે. આથી વૈજ્ઞાનિકોએ ટોકામાક મશીનમાં કામ માં આવતા વાહક બનાવવા માટે અતિ ચાલકોનો ઉપયોગ શરૂ કર્યો. આથી ઉચ્ચ પ્રમાણમાં વિદ્યુત પ્રવાહ મળી શકે છે. ભારતે પણ અન્ય વિકસિત દેશો સાથે તાલ મિલાવીને વીસમી સદીના અંતિમ દશકામાં સુપર કંડકિટંગ ટોકામાક બનાવવાનો નિર્ધાર કર્યો. ભારતીય વૈજ્ઞાનિક તથા ઈજનેરોના અથાક પ્રયાસોના ફળસ્વરૂપે એસએસટી-૧ નું નિર્માણ સંભવ બન્યું. ૨૦ જુન ૨૦૧૩ના દિવસે ભારતના પ્રથમ સુપર કંડકિટંગ ટોકામાક (એસએસટી-૧)માં

આકૃતિ ૨ : આઈ.પી. આરનું એસએસટી-૧ ટોકામાક મશીન

પ્લાઝમા બનાવવામાં સફળતા મળી. આ અદ્દભુત સફળતાથી ભારત વિશ્વના ચુનંદા દેશોમાં સામેલ થઇ ગયું જેમની પાસે સુપરકંડકટીંગ ટોકામાક મોજૂદ છે. આ દેશો છે - રશિયા, ફ્રાન્સ, જાપાન, કોરિયા તથા ચીન. નિસ્સંદેહ એસ.એસ.ટી.-૧ની સફળતા દ્વારા વિશ્વના ઉન્નત ટેકનોલોજી ક્ષેત્રે ભારતે એક વિશેષ સ્થાન પ્રાપ્ત કરી લીધું છે.

મૂળભૂત પ્લાઝમા ભૌતિકી પ્રયોગો

આદિત્ય અને એસએસટી-૧ ઉપરાંત પ્લાઝમા ભૌતિકીના મૂળભૂત વિષયોમાં પણ પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનમાં સંશોધન થાય છે. આમાં મુખ્ય છે - લાર્જ વોલ્યુમ પ્લાઝમા ડિવાઈસ (LVPD), મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન લેસર (ફ્રી ઈલેક્ટ્રોન લેસર), ધૂલિકણ મિશ્રિત પ્લાઝમા ઈત્યાદિ પ્રયોગો મુખ્ય છે. આ પ્રયોગોમાં પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનના વૈજ્ઞાનિકો ઉપરાંત મુખ્યત્વે શોધછાત્રો કામ કરે છે. ભારતની અન્ય પ્રયોગશાળાઓમાંથી પણ વૈજ્ઞાનિકો તથા શોધછાત્રો પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનમાં સંશોધન માટે તથા વૈજ્ઞાનિકો સાથે વિશિષ્ટ તકનીક પર ગહન ચર્ચા કરવામાં આવે છે. પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન પ્લાઝમા ક્ષેત્રે એક અગ્રણી સંસ્થાન તો છે જ, પરંતુ સાથોસાથ દેશની વિભિન્ન પ્રયોગશાળાઓ, વિશ્વવિદ્યાલયો તથા અન્ય સંસ્થાઓમાં કાર્યરત શોધછાત્રો તથા વૈજ્ઞાનિકો માટે ટેકનોલોજીની કર્મભૂમિ પણ છે.

ફેસિલિટેશન સેન્ટર ફોર ઇન્ડસ્ટ્રિયલ પ્લાઝમા ટેકનોલોજી (FCIPT)

સંલયન રિએક્ટર દ્વારા ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવા માટેના સંશોધન ઉપરાંત પ્લાઝમા ટેકનોલોજીઓનો ઉદ્યોગોમાં ઉપયોગ કરવા માટે, તથા તેની જાણકારી મેળવવા માટે પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનમાં ૧૯૯૭ માં ફેસિલિટેશન સેન્ટર ફોર ઈન્ડસ્ટ્રિયલ પ્લાઝમા ટેકનોલોજી (FCIPT)ની સ્થાપના કરવામાં આવી. FCIPT એ જાણવાની કોશિશ કરે છે કે કયા ક્ષેત્રોનાં ઉદ્યોગોમાં પ્લાઝમા ટેકનોલોજીના ઉપયોગને કાર્યરૂપ આપી શકાય.

ઉદ્યોગોના જે ક્ષેત્રોમાં FCIPT એ પ્લાઝમા ટેકનોલોજીનો ઉપયોગ કર્યો છે એમાં મુખ્ય છે - પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસ દ્વારા બાયોમેડિકલ અવશિષ્ટ કે કચરાનો નાશ કરવો, પેટ્રોલિયમ અવશિષ્ટથી પ્લાઝમા ગેસિફિકેશન તથા પાઈરોલિસિસ દ્વારા ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવી, પ્લાઝમા દ્વારા વસ્ત્રોની સપાટીમાં સુધારો કરી મજબૂત તથા ટકાઉ બનાવવા, વિભિન્ન પદાર્થોની સપાટી પ્લાઝમા વિધિ દ્વારા અધિક મજબૂત બનાવવી, ઈત્યાદિ. FCIPTએ અન્ગોરા ઊન ને પ્લાઝમા વિધિ દ્વારા વધુ મજબુત બનાવવાનો સફળ પ્રયોગ પણ કર્યો છે.

પ્લાઝ્મા અનુસંધાન સંસ્થાનની અન્ય પ્રવૃત્તિઓ

આગળ જણાવેલ પ્રવૃત્તિઓ ઉપરાંત પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન અન્ય ક્ષેત્રે પણ કાર્યરત છે. મુખ્યત્વે IPR આંતરરાષ્ટ્રીય પરિયોજના ''આંતરરાષ્ટ્રીય તાપનાભિકીય પ્રાયોગિક રિએક્ટર - ઈન્ટરનેશનલ થર્મોન્યુક્લિયર એક્સપેરિમેંટલ રિએક્ટર''- પરિયોજનામાં પણ સહભાગી છે. ભારત સાથે આ પરિયોજનામાં સાત સહભાગીઓ છે - યુરોપ, ચીન, જાપાન, દક્ષિણ કોરિયા, રશિયા તથા અમેરિકા. ITER માટે પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન ભારતની ડોમેસ્ટિક એજન્સી છે. આ પરિયોજના ૨૦ અબજ ડોલરના ખર્ચે પૂર્ણ થશે. યુરોપનું યોગદાન ૪૬ ટકા તથા બાકી બધા સહભાગીઓમાંથી પ્રત્યેકનું યોગદાન ૯ ટકા રહેશે. રોકડ યોગદાન સાથે આ પરિયોજનામાં જરૂરી બધી પ્રણાલીઓ કે માળખાઓ અલગ અલગ સહભાગીઓમાં પહેલેથી જ વિભાજિત કરવામાં આવી છે. આ સહભાગીઓ આ પ્રણાલીઓ તથા માળખાઓનું નિર્માણ કરીને ITER ને આપશે અને આમ, ITER મશીનનું નિર્માણ થશે. સર્વે પ્રતિભાગીઓને ITERની પૂર્ણ ટેકનોલોજી જાણવાનો અધિકાર મળશે. આમ, ભારત ૯ ટકા જેટલી ટેકનોલોજી વિકસિત કરશે પરંતુ બાકીની ૯૧ ટકા અન્ય દેશોથી ગ્રહણ કરશે! ITER મશીનનું નિર્માણ જોરશોરથી ફ્રાન્સમાં ચાલી રહ્યું છે. પહેલોવહેલો પ્રયોગ ૨૦૨૦માં થવાની વકી છે. અન્ય દેશોના સહભાગથી જે ઉચ્ચ ટેકનોલોજીઓ વિકસિત થઈ રહી છે તેનો સીધો લાભ ભારતને મળશે. ITERની સફળતા બાદ દરેક સહભાગી દેશ પોતાના દેશમાં વ્યાવસાયિક સંલયન રિએક્ટર બનાવી શકશે. આ રિએક્ટરને ડેમો નામ આપવામાં આવ્યું છે. સંલયન ઊર્જાને વ્યવસાયિક સ્વરૂપ આપવા માટે જરૂરી અન્ય નવી ટેકનોલોજીઓ પર ભારતમાં સંશોધન ચાલી રહ્યુ; છે. એસએસટી-૧ થી મોટા મશીનના નિર્માણની પણ જરૂરિયાત ઊભી થઈ કે, જે એસએસટી-૧ થી મોટું અને ITER થી નાનું હોય. આ માટેનું પ્રારંભિક કાર્ય શરૂ થઈ ચૂક્યું છે.

સંક્ષેપમાં કહીએ તો પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાન સંશોધન તથા વિકાસના ક્ષેત્રે ન કેવળ દેશનું એક અગ્રણી કેન્દ્ર છે, પરંતુ વિશ્વના બધા દેશોમાં પણ તેને એક વિશેષ સ્થાન પ્રાપ્ત છે. માનવ હિતમાં પ્લાઝમા ટેકનોલોજીના વિકાસ અર્થે અહીં વૈજ્ઞાનિકો કાર્યરત છે. ITERના અન્ય છ સહભાગીઓ સાથે ભારતનું પ્રતિનિધિત્વ આ વાતનું દ્યોતક છે. આપણે આશા કરીએ કે, એ દિવસ દૂર નથી જ્યારે સંલયન રિએક્ટરના રૂપમાં કૃત્રિમ સૂર્યની ઊત્પત્તિ માનવ પૃથ્વી પર કરી શકશે, જેથી ભવિષ્યના સૈકાઓમાં માનવીની ઊર્જાની સમસ્યાનો નિવેડો આવી જશે. પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થાનના વૈજ્ઞાનિકો તથા ઈજનેરો આ ઉદ્દેશ્યની પ્રાપ્તિ માટે પૂર્ણ રૂપે કટિબદ્ધ છે.

પ્લાઝ્માના સમાજલક્ષી ઉપયોગો : IPRનું યોગદાન

FCIPT, IPR ખાતે પ્લાઝ્માના સમાજલક્ષી ઉપયોગો

ગાંધીનગર ખાતે આવેલું પ્લાઝ્મા અનુસંધાન સંસ્થાન (IPR) નું ઔદ્યોગિક પ્લાઝ્મા ટેકનોલોજીઓ માટેનું સુવિધા કેન્દ્ર (Facilitation Centre for Industries Plasma Technologies) ઉદ્યોગો સાથે જોડે છે. પ્લાઝ્મા વિજ્ઞાનનું જ્ઞાન અને તેની સાથે સંકળાયેલી ટેકનોલોજીઓ દ્વારા વિવિધ પદાર્થો સાથેની પ્રક્રિયા અને પર્યાવરણના રક્ષણમાં મદદરૂપ તેવી અદ્યતન અને બિનપરંપરાગત ટેકનોલોજીઓનો વિકાસ આ કેન્દ્રમાં થયો છે.

IPR, પરમાણુ ઊર્જા વિભાગ (DAE), ભારત સરકાર અંતર્ગત, એક સ્વાયત્ત સંસ્થા છે, અને પ્લાઝ્મા વિશેના પાયાના સંશોધન તથા ઉપયોગી ટેકનોલોજીઓ વિકાસમાં કાર્યરત છે. સંલયન માટે પ્લાઝ્માનું બંધન અને પ્લાઝ્મા આધારિત પદાર્થ / સામગ્રી પરની પ્રક્રિયાનો વિકાસ તેના મુખ્ય ધ્યેય છે.

FCIPT પ્લાઝ્મા દ્વારા થતી પ્રક્રિયાઓની સંકલ્પનાથી પ્રારંભ કરીને તેનો વિશિષ્ટ ટેકનોલોજીમાં વિકાસ કરે છે, અને તેનું વાણિજ્યિકરણ પણ કરે છે. સાથોસાથ વિકસિત ટેકનોલોજીનું ઉદ્યોગોમાં હસ્તાંતરણ, તથા સીધું માર્કેટિંગ પણ કરે છે. આ ટેકનોલોજીના પ્રસાર અને જાગૃતિ માટે એક ન્યુઝલેટર પણ પ્રકાશિત કરવામાં આવે છે.

FCIPTની સ્થાપના ૧૯૯૭માં કરવામાં આવી. તેનો મુખ્ય ઉદ્દેશ્ય છે ટેકનોલોજીનો વિકાસ, તેમનું વાણિજ્યિક સંવર્ધન, નિદર્શન, ઉત્પાદન, અને ઉદ્યોગોમાં હસ્તાંતરણ FCIPTમાં વિધિવિકાસ તથા સાધન-સામગ્રી માટેની પ્રયોગશાળા, સાધનોના ભાગ બનાવવા માટેનું વર્કશોપ, સામગ્રીની લાક્ષણિકતાની ચકાસણી તથા ઉત્પાદન માટેની સુવિધા છે.

FCIPT પાસે વિવિધ વિષયમાં નિષ્ણાત વૈજ્ઞાનિકો તથા ઈજનેરોની ટીમ છે, જેઓ પ્લાઝ્મા વિજ્ઞાન, પ્લાઝ્મા રસાયણ, ધાતુશાસ્ત્ર, સામગ્રી વિજ્ઞાન, પાવર ઈલેક્ટ્રોનિક્સ તથા સાધનોની રચના (ઈન્સ્ટ્રુમેન્ટેશનમાં) નિષ્ણાત છે.

એક જ છત્ર નીચે ચાલતી ઉપર જણાવેલી પ્રવૃત્તિઓ ઉદ્યોગોને ઔદ્યોગિક ટેકનોલોજીનું એક સંપૂર્ણ પેકેજ પૂરૂં પાડે છે, તથા સ્વદેશી ટેકનોલોજીનો ઉપયોગ કરવામાં રસ ધરાવતા ઉદ્યોગોને જરૂરી સેવાઓ પૂરી પાડે છે. નીચે FCIPTમાં વર્તમાન મુખ્ય પ્રવૃત્તિઓ/પ્રયોગોનું ટૂંકમાં વર્ણન કરવામાં આવ્યું છે.

૧. પૃષ્ઠતલ / સપાટી પરના ઉપયોગો

A. પેટાપૃષ્ઠ/પેટાસપાટી પર ગ્લો ડિસ્ચાર્જ પ્લાઝ્મા નાઇટ્રાઇડિંગ વડે થતું પરિવર્તન

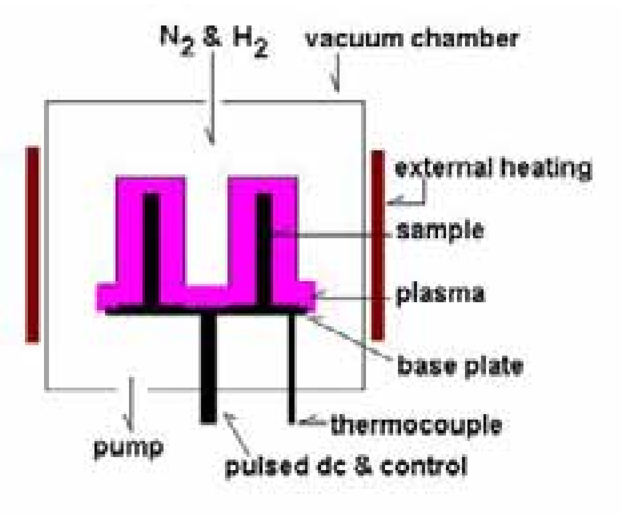
પ્લાઝ્મા નાઈટ્રાઈડીંગ (આકૃતિ 1A અને 1B) પ્લાઝ્મા ચલિત ઉષ્મારાસાયણિક પ્રસારણ ક્રિયા છે. જેમાં સ્ટીલની સપાટીમાં નાઇટ્રોજનનું પ્રસારણ ૪૦૦ ^{0}C થી ૫૫૦ ^{0}C જેટલી મર્યાદામાં કરવામાં આવે છે. આથી નાઈટ્રોજનના આયન સ્ટીલમાં રહેલ લોહ તથા મિશ્રધાતુઓના તત્વોની સાથે સંયોજન પામે છે, અને તે ધાતુઓના નાઈટ્રાઈડ બનાવે છે. આથી સપાટીની કઠિનતા વધે છે. અને ઘસારો ઓછો થવાની સાથે કાટનો પ્રતિરોધ કરતું આવરણ ચઢે છે.

પ્લાઝ્મા નાઇટ્રાઇડિંગની થતા લાભ

- વિકૃતિ આવતી નથી.
- કઠિનતા જળવાઈ રહે છે.
- અસરકારક આવરણ
- ઉચ્ચ પુનરાવર્તકતા
- શ્વેતસ્તરનું નિયંત્રણ
- પર્યાવરણ માટે લાભકારી
- સ્ટેનલેસ સ્ટીલને કઠિન બનાવે છે.
- પ્રક્રિયા કાર્ય બાદ ફરીથી ગ્રાઈન્ડીંગ કરવું પડતું નથી.
- ઘટકોનું /પુર્જાઓનું આયુષ્ય વધે છે.
- પ્લાન્ટને ચાલુ / બંધ કરવામાં ઓછો સમય લાગે છે.
- દરેક ક્રિયા માટે લાગતો સમય ઘટાડે છે.

ઉપયોગો

- કાપડ વણાટ ઉદ્યોગ ક્ષેત્રે
- ઓટોમોબાઈલ ક્ષેત્રે
- પ્લાસ્ટિક ઉદ્યોગોમાં
- ઓજાર તથા ડાઈ બનાવવાનાં ક્ષેત્રે
- જળવિદ્યુતના ઉપયોગી ઘટકો બનાવવામાં

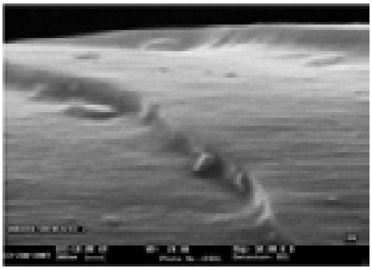


આકૃતિ ૧A : પ્લાઝ્મા નાઇટ્રાઇડિંગ માટે પ્રાયોગિક ગોઠવણી

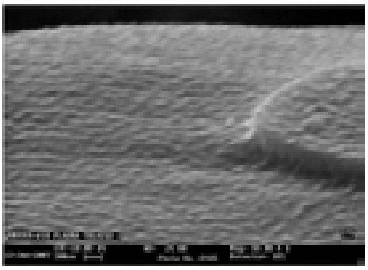
આકૃતિ ૧B : નાઇટ્રાઇડિંગ દરમિયાન દૃશ્યમાન પ્લાઝ્મા ગ્લો

B: પૃષ્ઠતલ / સપાટી પર પ્લાઝ્મા સક્રિયકરણ દ્વારા ઊન તથા અન્ય કાપડ પર કરવામાં આવતું ''એટ્ચિંગ''.

અંગોરા સસલામાંથી પ્રાપ્ત થતો અંગોરા રેશો (વાળ) વાતાવરણના દબાણે પ્લાઝ્મા દ્વારા પ્રક્રિયા કરી તેનો ઘર્ષણાંક બદલી, તેને ખરબચડો બનાવવામાં આવે છે. આથી બે રેશાઓ વચ્ચે આકર્ષણ પણ વધે છે. અંગોરા ઊન ઘેટાના ઊન કરતાં આઠગણી વધુ ગરમી આપનારું તથા વજનમાં હલકું હોય છે. કુદરતી રીતે મળતા અંગોરા ઊનના રેશા લીસા હોય છે, તેથી વણાટ માટે મુશ્કેલ હોય છે, પ્લાઝ્મા પ્રક્રિયાથી તે શક્ય બને છે.



સ્કેનિંગ ઇલેક્ટ્રોન માઇક્રોસ્કોપ દ્વારા પ્રાપ્ત કુદરતી અંગોરા ઊનનો રેશો



પ્લાઝ્મા પ્રક્રિયા બાદ અંગોરા ઊનનો રેશો (SEM)

પ્લાઝ્મા પ્રક્રિયા બાદ અંગોરા ઊનની વણાટક્રિયા

C: પ્લાઝ્મા આધારિત આવરણ ચઢાવવું

પાતળા આવરણ (થિન ફિલ્મ)ના ઘણા ઉપયોગો છે. કઠિન આવરણ, અપરાવર્તક આવરણ, સોલાર આવરણ ઈત્યાદિ. પાતળા આવરણ ચઢાવવા માટે પ્લાઝ્મા આધારિત ''મેગ્નેટ્રોન સ્પટરિંગ'' જેવી પદ્ધતિનો ઉપયોગ બહોળા પ્રમાણમાં થાય છે.

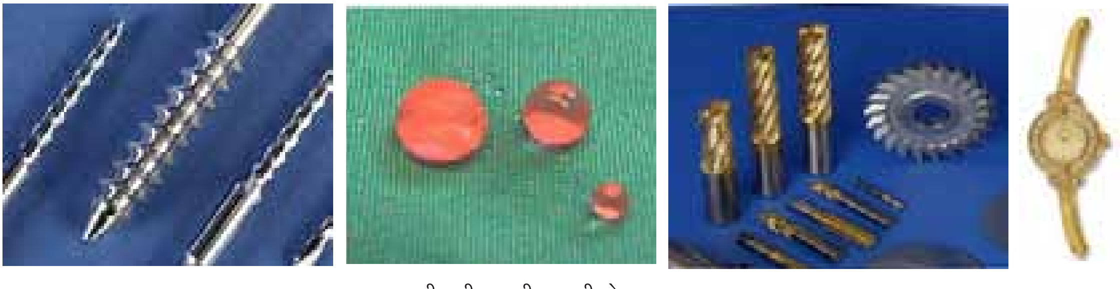
પ્લાઝ્મા આધારિત આવરણથી થતા લાભ

- પ્લાઝમાં આધારિત આવરણ ખૂબ કઠિમ હોય છે.
- બૃહદ્સ્તરે ખૂબ ઓછી ખામીઓ.
- સહેલાઈથી અન્ય સપાટી સાથે ચોંટી જાય છે.
- પર્યાવરણ માટે અહાનિકારક પદ્ધતિ
- ધાતુ, મિશ્રધાતુ, કે સંયોજન પર સહેલાઈથી આવરણ ચઢાવી શકાય છે.
- ઉષ્માસંવેદી નિમ્નસ્તર (સબસ્ટ્રેટ) પર આવરણ કરી શકાય છે.

FCIPTમાં મેગ્નેટ્રોન સ્પટરીંગ પ્રણાલી

પ્લાઝ્મા દ્વારા એલ્યુમિનિયમનું આવરણ ચઢાવવું

સોલાર સેલ બનાવવા માટે મલ્ટિપલ મેગ્નેટ્રોન સ્પટરિંગ પ્રણાલી

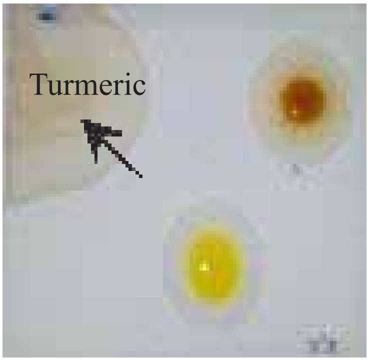


જુદી જુદી જાતની સપાટીઓ પર આવરણ

D. પ્લાઝ્મા ટેકનોલોજી દ્વારા નેનોમટિરિયલનું ઉત્પાદન

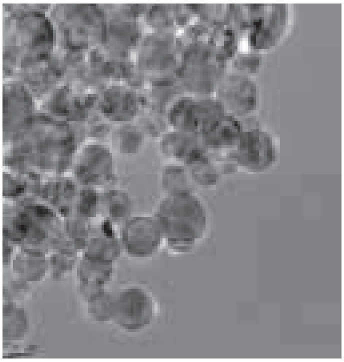
નેનોમટિરિયલ (નેનોસ્કેલ પર ઉત્પાદિત પદાર્થ કે સામગ્રી) અને નેનોટેકનોલોજીનો ઉપયોગ વિવિધ ક્ષેત્રોમાં મોટા પાયા પર થાય છે, જેમ કે ઇલેક્ટ્રોનિક્સથી જૈવ ચિકિત્સા પ્રણાલી સુધી. નેનો આકાર નાં ટાઈટેનિયમ ડાયોક્સાઈડનાં કણોનો ઉપયોગ પેઈન્ટ બનાવવામાં, જાતે સફાઈ રાખી શકે તેવું કાપડ બનાવવામાં, તથા સૌંદર્યપ્રસાધનો બનાવવામાં થાય છે. ઉષ્મીય પ્લાઝ્મા આધારિત પ્રણાલીઓનો ઉપયોગ વિવિધ પ્રકારનાં નેનો મટીરિયલ એક જ તબક્કામાં બનાવવા માટે થાય છે. અહીં થોડા ઉપયોગોનું વર્ણન કરેલ છે.

- મોટા ક્ષેત્રફળ માં નેનો સ્તર પર પેટર્ન બનાવી શકાય તેવી પધ્ધતિ નો ઉપયોગ નેનો પાર્ટીકલની ગોઠવણી કરવામાં થાય છે, જેનો ઉપયોગ સોલર સેલ ની કાર્યક્ષમતા વધારવામાં તથા અન્ય ક્ષેત્રોમાં થાય છે.
- ખૂબ ઓછી માત્રા માં ઉપસ્થિત અણુને ઓળખવા માટે સંવેદકનાં વિકાસ માં આ પધ્ધતિ નો ઉપયોગ થાય છે.
- પ્રકાશ નાં પરિવહન માટે નેનો સ્કેલ પર આધારિત વેવ ગાઈડ અર્થાત તરંગ પથદર્શક બનાવામાં પણ આ પધ્ધતિ નો ઉપયોગ થાય છે.
- પાણીનુ શુધ્ધિકરણ કરવા માટે ફિલ્ટરમાં જીવાણુવિરોધી એવી પ્લાઝમા ટેકનોલોજી વપરાય છે.

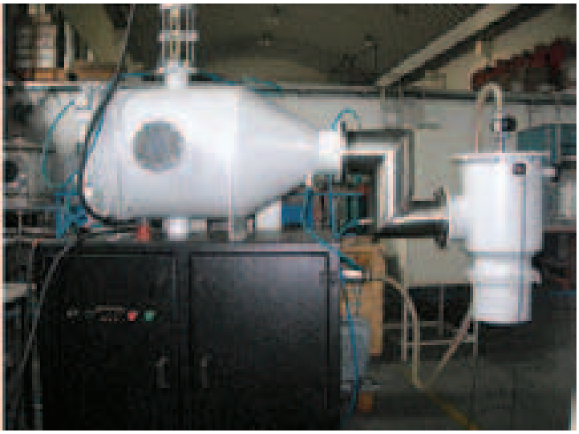


અનાવરિત કાપડ

TiO_2 નાં આવરણવાળું કાપડ



TiO_2 નેનોપાર્ટિકલ



નેનો પદાર્થનાં ઉત્પાદનની પ્રણાલી

E. પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસ

પ્લાઝમામાં રહેલાં વીજભારિત અને તટસ્થ કણોનું તાપમાન કચરાનું દહન કરવાની સામાન્ય ભઠ્ઠી કરતા ઘણું ઊંચું જઈ શકે છે, આથી તે કચરાને પૂરેપુરો ભસ્મીભૂત પ્લાઝમાને આ માટે ગેસનો ઓછો પ્રવાહ પણ પૂરતો છે, જ્યારે પારંપરિક ભઠ્ઠીમાંનો કચરો બાળવા માટે વધારે પ્રમાણમાં ઓક્સિજન અને હવાની જરૂર પડે છે. પ્લાઝમાને ઉચ્ચ તાપમાન મેળવવા માટે હવા કે ઓક્સિજનની જરૂર નથી પડતી. એટલે મ્યુનિસિપાલિટી અને દવાખાનાનો કચરો બાળવા માટે પ્લાઝમા ભઠ્ઠી વધારે કાર્યક્ષમ સાબિત થઇ શકે છે. આ

ક્રિયા ને પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસ કહે છે. આ ક્રિયાનાં મુખ્ય ફાયદાઓ આ પ્રમાણે છે :

- જૈવિક કચરાનું ઉષ્મીય વિઘટન ઓક્સીજનની અનુપસ્થિતિમાં કે તેની નિયંત્રિત અવસ્થામાં થાય છે.
- પ્લાઝમા જ્યોત (arc) એક ઉષ્ણતાના સ્રોત તરીકે કામ આપે છે, જેનું તાપમાન ૧૦,૦૦૦ °Cથી વધુ હોય છે.
- US-EPA અને CPCB દ્વારા નિશ્ચિત કરેલી મર્યાદામાં જ પાઈરોલિસિસ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતાં વિભિન્ન ગેસ નું ઉત્સર્જન વાતાવરણ માં થાય છે.
- પ્રાથમિક ભઠ્ઠીમાં ઘણા ઉચ્ચ તાપમાને ગેસ ઉત્પન્ન થાય છે. તથા તેમનું ઉષ્મીય મૂલ્ય (calorific value) પણ વધારે હોય છે.
- પાઈરોલિસિસ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતી ઊર્જા ઉષ્માવિનિમયક દ્વારા તથા ઉત્પન્ન થતાં ગેસનાં દહન દ્વારા પાછી મેળવી શકાય છે.

પ્લાઝમા પાઈરોલિસિસનાં સંયંત્રની ગોઠવણી

F. પ્લાઝમાના ઈજનેરી ક્ષેત્રે ઉપયોગો

૧. પ્લાઝમા જેટ

- પ્લાઝમા જેટનો ઉપયોગ અકસ્માત સમયે ઘામાંથી વહેતા લોહીને ગંઠાવવા માટે થાય છે.
- ઘા ને જંતુમુક્ત કરવા માટે પણ પ્લાઝમા જેટનો ઉપયોગ થાય છે.

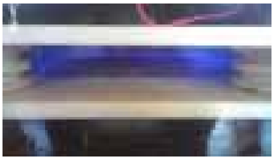
૨. ખેતીવાડી ક્ષેત્રે પ્લાઝમા

- બીજ પરનાં સખત આવરણને લીધે ઘણી વાર અંકુરણ વિલંબથી થાય છે, અને ક્યારેક તો થતું જ નથી. પારંપરિક પધ્ધતિઓ જેમાં ગરમ પાણી કે ગંધકના તેજાબનો ઉપયોગ કે બિયારણને શરૂઆતમાં પાણીમાં ભીંજવવું, ઈત્યાદિ પદ્ધતિઓનો સમાવેશ થાય છે, તેમાં સમયનો બગાડ થાય છે કે તે પર્યાવરણને અનૂકુળ નથી. પ્લાઝમા વિકસિત પ્રક્રિયામાં બિયારણનું અંકુરણ સહેલાઈથી થઈ શકે છે.

૩. પ્લાઝમાના વિકસતાં ઉપયોગો

- સીમલા મિર્ચ, ભીંડા કે અન્ય શાકભાજીમાંથી જંતુનાશકો દૂર કરવામાં ભવિષ્યમાં પ્લાઝ્માનો ઉપયોગ થઈ શકશે.
- દવાખાનામાં શલ્યક્રિયા માટે વપરાતા સાધનો પ્લાઝમા વડે જંતુ રહિત બનાવી શકાય.

લોહીના ગંઠવા માટેની પ્લાઝમા ટોર્ચ



સીમલા મિર્ચનાં બિયારણની પ્રક્રિયા માટેની ગ્લો ડીસ્ચાર્જ પ્લાઝમા પ્રણાલી

પ્લાઝમા પ્રક્રિયામાંથી પસાર નહિ થયેલા તથા પસાર થયેલા સીમલા મિર્ચનાં બીજ

પરમાણુ વિખંડન વડે ઊર્જા

કોલસાનું સગડીમાં દહન થતાં આપણને ઊર્જા કેવી રીતે મળે છે? આપણે જ્યારે કોલસો સળગાવીએ ત્યારે આપણે હકીકત માં કાર્બન અને ઓક્સિજનનાં પરમાણુઓ સાથે છેડછાડ કરીએ છીએ અને તેના બહારની ઈલેક્ટ્રોન ની કક્ષાઓમાં ફેરફાર કરીને ફેરગોઠવણી કરીએ છીએ, જેથી વધુ સ્થિર સંયોજન બને. આપણે જ્યારે નાભિકીય રિએક્ટરમાં યુરેનિયમનો ઈંધણ તરીકે ઉપયોગ કરીને ઊર્જા મેળવીએ છીએ, ત્યારે આપણે યુરેનિયમની નાભિમાં રહેલ પ્રોટોન તથા ન્યુટ્રોનની ફેરગોઠવણી કરીએ છીએ, જેથી વધુ સ્થિર સંયોજન મળે છે.

આપણે જાણીએ છીએ કે પરમાણુમાં કુલંબના આકર્ષણ બળને કારણે ઈલેક્ટ્રોન તેમની કક્ષામાં ફરતા રહે છે. બહારની કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રોનને પરમાણુંમાથી મુક્ત કરવા માટે થોડાકજ ઈલેક્ટ્રોન વોલ્ટ (eV) જેટલી ઊર્જાની જરૂર પડે છે. 1 eV એટલે કેટલી ઊર્જા? જ્યારે ઈલેક્ટ્રોનને ૧ વોલ્ટ જેટલા વીજસ્થિતિમાનના તફાવતમાંથી પ્રવેગિત કરવામાં આવે ત્યારે તે ૧eV જેટલી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરે છે. પ્રોટોન તથા ન્યુટ્રોન નાભિમાં પ્રવર્તતા ઊંચા નાભિકીય આકર્ષણ બળને કારણે બંધાયેલા રહે છે, અને તેમાંથી કોઇ એક પ્રોટોન કે ન્યુટ્રોનને નાભિમાંથી દૂર કરવા માટે કેટલાક દશ લાખ ઈલેક્ટ્રોન વોલ્ટ (Million electron Volt MeV) જેટલી ઊર્જાની જરૂર પડે છે! આથી એક કિલોગ્રામ કોલસામાંથી જેટલી ઊર્જા મળે તેનાથી દશ લાખ ગણી વધુ ઊર્જા આપણને એક કિલોગ્રામ યુરેનિયમમાંથી મળે છે! દાખલા તરીકે કોઇ ઉચ્ચ ઉષ્ણતા ઉત્સર્જિત કરતી રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં (જેમ કે કાર્બનના એક પરમાણું સાથે ઓક્સિજનના બે પરમાણું જોડાય ત્યારે) લગભગ 4eV જેટલી ઊર્જા ઉત્સર્જિત થાય છે (આકૃતિ ૧). તેનાથી વિરુદ્ધ જ્યારે યુરેનિયમની એક નાભિ $^{235}U_{92}$ (જેમાં ૯૨ પ્રોટોન તથા ૧૪૩ ન્યુટ્રોન હોય છે) નું વિખંડનની પ્રક્રિયા દરમિયાન ભંજન થાય છે, ત્યારે મુક્ત થતી ઊર્જા 200 MeV જેટલી હોય છે!

આકૃતિ ૧ : જ્યારે કાર્બન નો એક પરમાણુ ઓક્સિજનનાં બે પરમાણુ સાથે જોડાય છે, ત્યારે ૪ eV જેટલી ઊર્જા મુક્ત થાય છે.

પરમાણવિક તથા નાભિકીય બંને કિસ્સાઓમાં પ્રાપ્ત થતી ઊર્જા સ્થિતિ ઊર્જામાં થતા ઘટાડાને આભારી છે. બંને ક્રિયાઓમાં તફાવત એટલો જ છે કે, યુરેનિયમની વિખંડન પ્રક્રિયામાં સ્થિતિ ઊર્જાનું રૂપાંતર જેટલું ઉષ્ણતા કે અન્ય સ્વરૂપમાં થાય છે તેનાથી અત્યંત ઓછા પ્રમાણમાં સ્થિતિ ઊર્જાનું રૂપાંતર કોલસાની દહન પ્રક્રિયામાં થાય છે! વિવિધ પ્રક્રિયાઓમાં ૧ કિલોગ્રામ જેટલા દ્રવ્યમાંથી કેટલી ઊર્જા મેળવી શકાય, અને કેટલા સમય સુધી ૧૦૦ વોટનો વીજળીનો ગોળો પ્રકાશિત થઇ શકે તે દર્શાવ્યું છે. છેલ્લે આપેલ ઉદાહરણમાં એક કિલો દ્રવ્ય - પ્રતિ દ્વ્યનો વિનાશ થતા કેટલી ઊર્જા મળી શકે તે દર્શાવેલ છે, પરંતુ પ્રતિદ્રવ્યનો સંગ્રહ કરી ઉપયોગમાં લાવી શકાય તેવી રીતે ઊર્જા પેદા કરવાની કોઈ રીત આપણે જાણતા નથી!

ટેબલ - ૧ : 1kg દ્રવ્યમાંથી પ્રાપ્ત થતી ઊર્જા		
દ્રવ્યનો પ્રકાર	**પ્રક્રિયા**	**કેટલો સમય 100 W વીજળીનો ગોળો પ્રકાશિત કરી શકાય**
પાણી	પાણીનો 60 M નો ઊંચો પ્રપાત	5 સેકન્ડ
કોલસો	સળગાવીને	8 કલાક
સમૃદ્ધ યુરેનિયમ UO_2(3%) ^{235}U	રિએકટરમાં વિખંડન કરીને	680 વર્ષ
^{235}U	સંપૂર્ણ વિખંડન	3×10^4 વર્ષ
ઉષ્ણ ડ્યુટેરિયમ ગેસ	સંપૂર્ણ સંલયન	3×10^4 વર્ષ
દ્રવ્ય અને પ્રતિદ્રવ્ય	સંપૂર્ણ વિનાશ	3×10^7 વર્ષ

નાભિકીય વિખંડનઃ મૂળભૂત પ્રક્રિયાઓ

પ્રોટોનની શોધ ૧૯૧૯માં અર્નેસ્ટ રૂધરફોર્ડે કરેલી, જ્યારે ન્યુટ્રોનની શોધ ૧૯૩૨માં જેમ્સ ચેડવિકે કરેલી. થોડા વર્ષો બાદ, એનરિકો ફર્મી તથા તેમના સહયોગીઓએ જુદા જુદા તત્વો પર ન્યુટ્રોનનો મારો કર્યો અને તેથી નવા રેડિયોસક્રિય તત્વો ઉત્પન્ન થાય છે તેવા તારણ પર આવ્યા. ફર્મીએ પૂર્વાનુમાન કરેલ કે ન્યુટ્રોન વીજભારરહિત હોવાને કારણે નાભિ પર મારો કરવા માટે ઉપયોગી થઇ શકશે, અને તે નાભિની, સમીપ પહોંચે ત્યારે પ્રોટોન તથા આલ્ફા કણ (હિલિયમની નાભિ) અનુભવે તેવું અપાકર્ષણનું બળ અનુભવશે નહીં. ન્યુટ્રોન માટે કોઈ કુલંબનું સ્તર (દિવાલ) ન હોવાથી નાભિ ભારે તથા ઉચ્ચ વીજભારિત હોય તો પણ, ઓછી ઝડપ વાળો ન્યુટ્રોન સંઘાત કરી નાભિની અંદર પ્રવેશ કરવા સમર્થ હોય છે. એવું જોવા મળ્યું છે કે સૌથી સાનુકુળ અને અસરકારક એવા કણ ''થર્મલ ન્યુટ્રોન'' હોય છે. આવા ન્યુટ્રોન ઓરડાના ઉષ્ણતામાને (300 K) દ્રવ્ય સાથે સંતુલનમાં હોય છે અને તેમની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા 0.04 eV જેટલી હોય છે.

૧૯૩૯માં ઓટો હાન તથા ફ્રિટ્ઝ સ્ટ્રાસમાને થર્મલ ન્યુટ્રોન વડે યુરેનિયમ પર મારો કરતાં એવું જોવા મળ્યું કે ઘણી સંખ્યામાં નવા રેડિયોસક્રિય તત્વો ઉપન્ન થાય છે. તેમાંનું એક તત્વ હતું મધ્યમ દળ ધરાવતું તત્વ બેરિયમ, જેનો પરમાણું ક્રમાંક છે Z = 56. Z નાભિમાં રહેલી પ્રોટોનની સંખ્યા દર્શાવે છે. આવા મધ્ય દળવાળું તત્વ યુરેનિયમ (Z=92) પર ન્યુટ્રોન વડે મારો કરતાં કેવી રીતે મળી શકે? આ પહેલીનો ઉકેલ લિઝે માઇટ્નર અને તેમના ભત્રીજા ઓટો ફ્રિશે આપ્યો. તેમણે દર્શાવ્યું કે યુરેનિયમની નાભિએ ન્યુટ્રોનનું શોષણ કર્યા પછી તેનું બે ભાગમાં વિભાજન થાય છે, તથા તે બન્ને ભાગમાનો એક ભાગ બેરિયમની નાભિ હોઇ શકે, આ પ્રક્રિયાને તેમણે ''નાભિકીય વિખંડન'' (ન્યુક્લીઅર ફિશન) એવું નામ આપ્યુ. ન્યુટ્રોન વડે ^{235}U નું વિખંડન થતી પ્રક્રિયા નીચે મુજબ દર્શાવી શકાયઃ

$$^{235}U + n \rightarrow {}^{236}U^* \rightarrow X + Y + bn$$

અહીં $^{236}U^*$ સંયુક્ત નાભિ દર્શાવે છે. X તથા Y મધ્ય દળના વિખંડન થયેલા ટુકડા (નાભિ) દર્શાવે છે. bn આવી ઘટનામાં કેટલાં ન્યુટ્રોન મુક્ત થાય છે તે દર્શાવે છે, અને તેનું સરેરાશ મૂલ્ય 2.47 જેટલું હોય છે. જો કે 100 ઘટનાઓ માં માત્ર એકાદ ઘટનામાં જ વિખંડિત નાભિઓ X અને Y ના દળ સરખા હોય છે! આપણે નોંધીએ કે સૌથી વધારે સંભવતી એવી 7% જેટલી ઘટનાઓમાં X and Y ના દળાંક A = 140 અને 95 હોય છે. અહીં દળાંક A નાભિમાં રહેલ ન્યુટ્રોન તથા પ્રોટોનની સંખ્યા દર્શાવે છે.

વિખંડન પામતાં ટુકડાઓ X તથા Y પ્રાથમિક ટુકડાઓ કહેવાય છે, અને બન્નેમાં ન્યુટ્રોનની સંખ્યા સામાન્યતઃ વધુ પ્રમાણમાં હોય છે, અને તેથી અસ્થાયી હોય છે. વિખંડન દ્વારા અસ્તિત્વમાં આવેલી અસ્થાયી નાભિઓ β-ક્ષય (અર્થાત્ ઇલેક્ટ્રોનના ઉત્સર્જન)

પ્રક્રિયાની શૃંખલા દ્વારા સ્થિર થવાનો પ્રયત્ન કરે છે. એક વિશિષ્ટ ઉદાહરણ લઈએ:

$^{235}U + n \rightarrow {}^{236}U^{*} \rightarrow {}^{140}Xe + {}^{94}Sr + 2n$

વિખંડન ક્રિયામાં ઉત્પન્ન થયેલાં ટુકડાઓ ^{140}Xe અને ^{94}Sr β-ક્ષય (β-decay) દ્વારા સ્થિર તત્વ તરફ નીચે બતાવ્યા મુજબ આગળ વધે છે.

$^{140}Xe \rightarrow {}^{140}Cs \rightarrow {}^{140}Ba \rightarrow {}^{140}La \rightarrow {}^{140}Ce$ (સ્થિર)

$^{94}Sr \rightarrow {}^{94}Y \rightarrow {}^{94}Zr$ (સ્થિર)

આતો માત્ર ^{235}U ના વિખંડનનું એક ઉદાહરણ માત્ર છે **(આકૃતિ ૨)**. ^{235}U નાભિનું વિખંડન હંમેશા ઝેનોન અને બેરિયમમાં થતું નથી, પણ લગભગ બે સરખા દળની નાભિઓ હોય તેવા બે ટુકડાઓમાં થાય છે. ઘણીવાર બેરિયમ અને ક્રિપ્ટોનમાં પણ તેનું વિખંડન થાય છે. ઉત્સર્જિત થતા ન્યુટ્રોનની સંખ્યા તેમજ ઉત્સર્જિત થતી ઊર્જા પણ હંમેશા અચળ હોતી નથી. ઉત્સર્જિત ન્યુટ્રોનની સંખ્યા ૧ અથવા તેથી વધુ પણ હોઈ શકે છે. ઉત્સર્જિત ઊર્જા 200 MeVની નજીક હોઈ શકે, પરંતુ ^{235}U જેવી નાભિનું ભંજન થતાં, રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં ઉત્પન્ન થતી ઊર્જા કરતાં પણ લાખો ગણી ઊર્જા કેવી રીતે ઉત્પન્ન થાય છે? ચાલો જોઈએ!

વિખંડન પ્રક્રિયા દરમિયાન ઊર્જાનું ઉત્પાદન:

આપણે ઉપર વર્ણન કરેલ ઉદાહરણમાં કેટલી ઊર્જા વિખંડન પ્રક્રિયા દરમિયાન પેદા થશે? આપણે સરવાળે થતી વિખંડન પ્રક્રિયા નીચે મુજબ દર્શાવી શકીએ.

$^{235}U + n \rightarrow {}^{236}U^{*} \rightarrow {}^{140}Ce + {}^{94}Zr + 2n + Q$

અહીં Q વિભાજન પ્રક્રિયામાં ઉત્પન્ન થતી કુલ ઊર્જા છે. આપણે ક્યાંથી શરૂઆત કરી અને અંતે શું મળ્યુ તે જોઈએ. આપણે ઉપરની પ્રક્રિયામાં વિખંડન ટુકડાઓને તેમના અંતિમ સ્થાયી પેદાશથી સ્થાનાંતરિત કરીએ તો, ^{235}U નું રૂપાંતર નીચે પ્રમાણે થાય છે:

$^{235}U \rightarrow {}^{140}Ce + {}^{94}Zr + n.$

અહીં બે ને બદલે એક જ ન્યુટ્રોન છે, કારણ કે, ડાબી તરફનો એક ન્યુટ્રોન જમણી તરફના બે ન્યુટ્રોનમાંથી એક ને રદ કરશે. હવે ^{235}U તથા અન્ય વિખંડનમાં ઉત્પન્ન થતી નાભિઓના દળ નીચે પ્રમાણે છે:

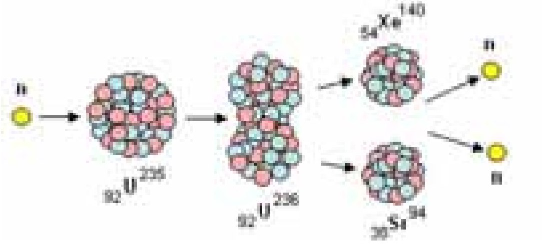
^{235}U દળ = 235.043924 u,

^{140}Ce દળ = 139.905433 u

^{94}Zr દળ = 93.906315 u,

n દળ = 1.008665 u

અહીં u પરમાણુદળાંકનો એકમ (amu) દર્શાવે



આકૃતિ ૨ : ન્યુટ્રોન દ્વારા ^{235}U પર મારો કરતાં પરિણમતી એક વિખંડન પ્રક્રિયા

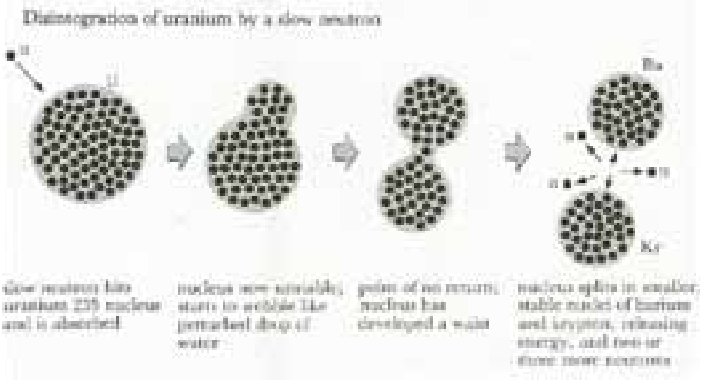
છે. $1u = 1.66054 \times 10^{-27}$ kg. જો આપણે વિખંડન ટુકડાઓના દળનો સરવાળો કરીએ તો આપણને વિખંડન ટુકડાઓનું કુલ દળ 234.8204134 u જેટલું મળે છે. આમ, પ્રક્રિયા દરમિયાનના દળનો તફાવત $\Delta m = 235.043924$ u - 234.8204134 u = 0.223511 u.

દેખીતી રીતે Δm = 0.223511 u જેટલું દળ અદૃષ્ય થઇ જાય છે! આટલું દળ કયાં ગુમ થઇ ગયું? આઇન્સ્ટાઇનના દ્રવ્ય-ઊર્જાના સિદ્ધાંત અનુસાર ($E=mc^2$) આ ગુમ થયેલું દળ ઉત્સર્જિત થતી ઊર્જા Q માં ફેરવાય છે. આમ $Q = (0.223511) \times c^2$ = 208.2 MeV. આમાંથી આશરે ૮૦% ઊર્જા તો વિખંડન ટુકડાઓની ગતિશક્તિ રૂપે અને બાકીની ન્યુટ્રોનની ગતિશક્તિ તથા રેડિયોસક્રિય નાભિઓમાં જાય છે. જો વિખંડનની પ્રક્રિયા કોઇ ઘન જથ્થાવાળા પદાર્થમાં થાય તો ઉત્પન્ન થતી ઊર્જા તે ઘન પદાર્થના તાપમાનમાં વધારો કરવામાં થાય છે, જે ઘન પદાર્થની આંતરિક ઊર્જામાં થયેલ વધારાને આભારી હોય છે. ૫% જેટલી મુક્ત થતી ઊર્જા પ્રાથમિક વિખંડન વખતે ઉત્પન્ન થયેલા વિખંડન ટુકડાઓના β-ક્ષય દરમિયાન પેદા થતાં ન્યુટ્રીનો સાથે જોડાયેલી હોય છે. આ ઊર્જા પ્રણાલીની બહાર ફેંકાઈ જાય છે, તથા પદાર્થની આંતરિક ઊર્જામાં

વધારો કરવામાં ભાગ લેતી નથી.

વિખંડનની પ્રક્રિયા કેવી રીતે આગળ વધે છે?

^{235}U જેવા ભારે પરમાણુની નાભિ જ્યારે થર્મલ ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરે છે, ત્યારે તે વધારાની ઊર્જા સાથે $^{236}U^*$ ની નાભિમાં ફેરવાય છે, અને ઉગ્ર રીતે આંદોલન કરવા લાગે છે. આવી આંદોલન ગતિથી આ સંયુક્ત નાભિ શક્તિશાળી વીજભારિત પ્રવાહીના બુંદની જેમ વર્તે છે. અમુક સમયબાદ તે એક ગ્રીવા (ગરદન) બનાવે છે જેથી તે બે અલગ અલગ વિજભારના લગભગ સરખા એવા ભાગોમાં વિભાજીત થવાની શરૂઆત થાય છે. જો યોગ્ય શરતો જળવાઇ રહે તો આ બંને ભાગ કે ટુકડાઓ સ્થિરવિદ્યુતના અપાકર્ષણથી ગ્રીવામાંથી ભંગ પામીને અલગ પડે છે. આ બન્ને ટુકડાઓ છૂટા પડીને એક બીજાથી દૂર જવા છતાં બન્નેમાં અલ્પ માત્રામાં ઉત્તેજના ઊર્જા (એકસાઇટેશન એનર્જી) હોય છે, અને આ ઊર્જાને કારણે તેમનામાંથી ન્યુટ્રોન પણ વિસર્જિત થાય છે. આમ વિખંડન થાય છે **(આકૃતિ ૩)**.



આકૃતિ 3 : થર્મલ ન્યુટ્રોન વડે યુરેનીયમનું વિખંડન

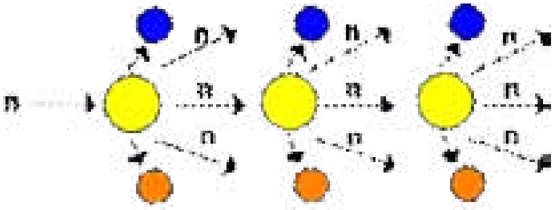
આપણે નોંધ લઇએ કે ^{235}U અને ^{239}Pu (પ્લુટોનિયમ જેનો પરમાણુ ક્રમાંક Z=94) ના નાભિ પર થર્મલ ન્યુટ્રોનનો (0.04eV) નો મારો કરતાં તેમનું વિખંડન થાય છે, જ્યારે ^{238}U નું થતું નથી. આ વાસ્તવિકતાનું વર્ણન કરવા માટે આપણે એમ કહીએ કે ^{235}U અને ^{239}Pu નો આડછેદ (ક્રોસ સેકશન) વિખંડન ક્રિયા માટે ^{238}U કરતાં ઘણો વધારે છે. આડછેદ વિખંડન થવા માટેની પ્રક્રિયાની સંભાવિતતાનું મૂલ્ય દર્શાવે છે, અને તેનું માપન ''બાર્ન'' ના એકમથી થાય છે. (1 બાર્ન = 10^{-28} m^2). ^{238}U નું વિખંડન જો તે થર્મલ ઊર્જા ધરાવતા ન્યુટ્રોનથી ખૂબ વધારે પ્રમાણમાં ઊર્જા ધરાવતા ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરે તો જ શક્ય બને છે. ^{238}U ની નાભિ 1.3 MeV જેટલી ઊર્જા ધરાવતા ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરે તો તેનું વિખંડન થઇ શકે છે. આવી ઊર્જા ધરાવતા ન્યુટ્રોન માટે ^{238}U નાભિનું વિખંડન કરવાની સંભાવના પણ તેના આડછેદના વધુ મૂલ્યના કારણે વધુ હોય છે.

શૃંખલા પ્રક્રિયા

નાભિકીય વિખંડનની શોધ થયા પછી તુરંત જ અનુભવાયું હતુ કે વિખંડનમાં મુક્ત થતાં ન્યુટ્રોન અન્ય નાભિઓનું પણ વિખંડન કરી શકે. આમ એક સ્વનિર્ભર એવી વિખંડનની શ્રેણી સંભવ બની શકે. આ સ્વનિર્ભર એવી વિખંડનની શ્રેણીને ''શૃંખલા-પ્રક્રિયા'' એવું નામ આપવામાં આવ્યું **(આકૃતિ ૪)**. આ શૃંખલા પ્રક્રિયા માટે શું શરતો હોવી જરૂરી છે? દરેક વિખંડનમાં મુક્ત થયેલા ન્યુટ્રોન પૈકી ઓછામાં ઓછા એક ન્યુટ્રોને સરેરાશ અન્ય એક નાભિનું વિખંડન કરવું જોઇએ. જો બહુ ઓછા પ્રમાણમાં ન્યુટ્રોન છુટા પડે તો શૃંખલા પ્રક્રિયા ધીમી પડે અને અંતતઃ બંધ થઇ જાય. જો દરેક વિખંડનમાં છૂટા પડેલા પૈકી ફક્ત એક ન્યુટ્રોન અન્ય નાભિનું વિખંડન કરે તો ઊર્જા ચોક્કસ દરે ઉત્પન્ન થાય. આવી પ્રક્રિયાને સ્વનિર્ભર શૃંખલા પ્રક્રિયા કહેવામાં આવે છે. જો વિખંડન પ્રક્રિયાઓનો દર વધી જાય તો આ ક્રિયા અનિયંત્રિત થઇ જાય છે, અને ઊર્જા એટલી ઝડપથી ઉત્પન્ન થાય છે કે તેના પરિણામે વિસ્ફોટ પણ થાય! એટમ બોંબમાં અનિયંત્રિત શૃંખલા પ્રક્રિયાને કારણે જ વિસ્ફોટ થાય છે. આ ત્રણે અવસ્થાઓને અનુક્રમે આપણે પૂર્વક્રાન્તિકારી, ક્રાન્તિકારી, તથા અતિક્રાન્તિકારી

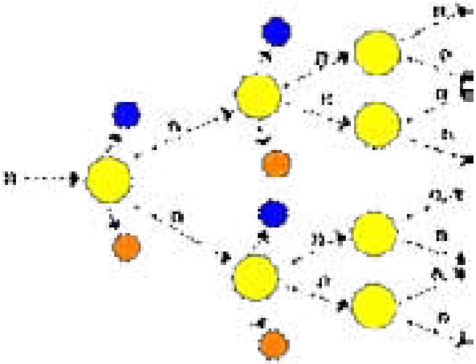
અવસ્થા તરીકે ઓળખીશું.

જો દરેક વિખંડનમાંથી મુક્ત થતાં બે ન્યુટ્રોન 10^{-8} સેકન્ડમાં અન્ય વિખંડન કરે તો એક વિખંડન દ્વારા શરૂ થતી શૃંખલા પ્રક્રિયામાં 10^{-6} જેટલા અલ્પ સમયમાં જ $2x10^{13}$ જુલ જેટલી ઊર્જા ઉત્સર્જિત થાય! આટલી ઊર્જા 0.25 kg જેટલા ^{235}U નું વિખંડન થતા અથવા ૪.૭૫ કિલોટન જેટલા TNT (ટ્રાઇનાઇટ્રોટોલુઇન) નો વિસ્ફોટ થતાં જેટલી ઊર્જા મુક્ત થાય તેની બરાબર હોય છે! ૬ ઓગસ્ટ ૧૯૪૫ ના દિવસે હિરોશિમામાં લિટલ બોય નામનો પરમાણુ બોમ્બ ઝીંકાયો ત્યારે લગભગ ૧૫ કિલો ટન TNT ના વિસ્ફોટ જેટલી ઊર્જા પેદા થઈ હતી, જ્યારે નાગાસાકી પર ૯ ઓગસ્ટ ૧૯૪૫ ના રોજ ફેટમેન નામનો પરમાણુ બોંબ ઝીંકાયો ત્યારે લગભગ ૨૦ કિલોટન TNT ના વિસ્ફોટ જેટલી ઊર્જા પેદા થઈ હતી. ૧૮ મે ૧૯૭૪ ના રોજ ભારતે કરેલ પ્રથમ પરમાણુ પરીક્ષણમાં ૧૨ કિલો ટન TNT ના વિસ્ફોટ જેટલી ઊર્જા ઉત્પન્ન થઈ હતી. આ બોમ્બનું નામ હતું સ્માઇલિંગ બુદ્ધા, અને તેનો વિસ્ફોટ રાજસ્થાનના પોખરણ ક્ષેત્રમાં કરવામાં આવ્યો હતો. અમેરિકાના શસ્ત્રાગારમાં ૦.૩ કિલોટન થી ૧.૨ મેગા ટન TNT જેટલી ઊર્જા મુક્ત કરી શકે તેવા પરમાણુ શસ્ત્રો છે!



Controlled chain reaction (only one neutron from each fission goes on to produce another fission.)

નિયંત્રિત શૃંખલા પ્રક્રિયા



Uncontrolled chain reaction

અનિયંત્રિત શૃંખલા પ્રક્રિયા

આકૃતિ ૪ : શૃંખલા પ્રક્રિયા

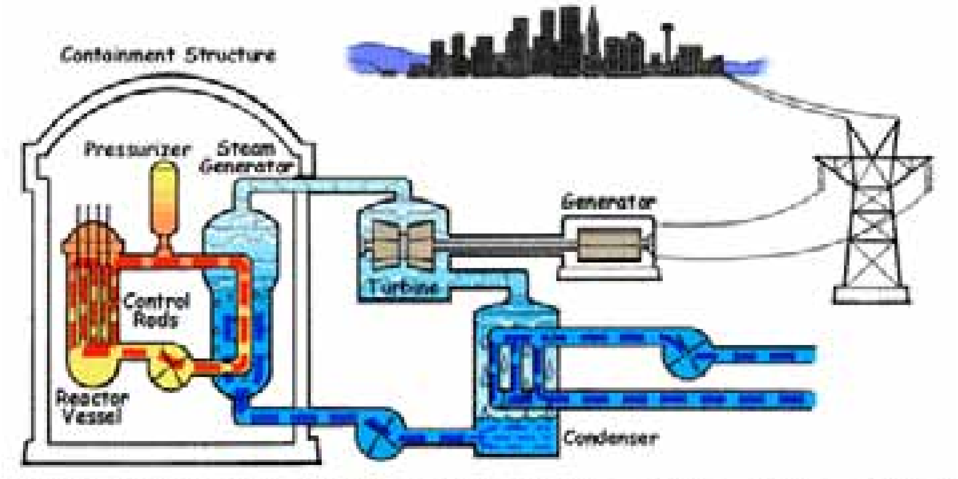
નાભિકીય ભઠ્ઠી કે નાભિકીય રિએક્ટર

નાભિકીય રિએક્ટર ઊર્જાનો એક ખૂબ સક્ષમ સ્રોત છે **(આકૃતિ ૫)**. ૧ ગ્રામ ^{235}Uના વિખંડનથી પ્રતિદિન 1MW જેટલા દરથી ઊર્જા પેદા કરી શકાય. આટલી માત્રામાં પરંપરાગત વિદ્યુતમથકમાં ૨.૬ ટન જેટલા કોલસાનુ દહન કરવું પડે! રિએક્ટર માંથી ઊર્જા ઉષ્ણતાના સ્વરૂપમાં મળે છે, જે કોઈ યોગ્ય પ્રવાહી કે ગેસનો શીતક તરીકે ઉપયોગ કરીને નિષ્કાસિત કરવામાં આવે છે. ગરમ થયેલા શીતક દ્વારા પાણી ઉકાળવામાં આવે છે. અને ઉત્પન્ન થતી બાષ્પથી ટર્બાઇન ચલાવી વિદ્યુત જનરેટર દ્વારા વીજળી મેળવવામાં આવે છે. આ શક્તિ દ્વારા જહાજ કે સબમરિન પણ ચલાવી શકાય છે.

^{235}U ના દરેક વિખંડનમાં આશરે ૨.૫ ન્યુટ્રોન ઉત્સર્જિત થાય છે, પરંતુ ૧.૫ જેટલા ન્યુટ્રોન તો ઉપયોગમાં લઇ શકાતાં નથી. આમ, ઓછામાં ઓછો એક ન્યુટ્રોન તો શૃંખલા પ્રક્રિયા આગળ ધપાવવા ઉપલબ્ધ થાય છે, અને આથીજ શૃંખલા પ્રક્રિયા જળવાઇ રહે છે. કુદરતી રીતે પ્રાપ્ત થતા યુરેનિયમનમાં માત્ર ૦.૭ ટકા જ વિખંડન યોગ્ય ^{235}U ના સમસ્થાનિકો હોય છે. વિપુલ માત્રામાં મળતા ^{238}U નાં સમસ્થાનિકો ^{235}U વડે વિખંડન દરમિયાન ઉત્પન્ન થતાં ઝડપી ન્યુટ્રોનને શોષી તો લે છે, પરંતુ તેમનું વિખંડન થતું નથી. ધીમા ન્યુટ્રોનની સાથે પ્રક્રિયા માટે ^{238}U ખૂબ ઓછો આડછેદ ધરાવે છે, જ્યારે

^{235}U માટે આડછેદ ઘણો વધુ છે. પરમાણુ રિએક્ટરમાં ^{235}U ના વિખંડન દરમિયાન મુક્ત થતાં ઝડપી ન્યુટ્રોનને ધીમા પાડવાથી તેમનું શોષણ ^{238}U દ્વારા થતું નથી, પરંતુ ^{235}U દ્વારા તેમનું શોષણ વિશેષ પ્રમાણમાં થઇ વિખંડન ક્રિયાને વધુ પ્રમાણમાં પ્રેરિત કરે છે. વિખંડન પ્રક્રિયા દરમિયાન મુક્ત થયેલા ન્યુટ્રોનનો વેગ ઓછો કરવા, યુરેનિયમ ભઠ્ઠીમાં ''મોડરેટર'' દાખલ કરવામાં આવે છે. મોડરેટર ન્યુટ્રોન સાથે અથડામણો દરમિયાન તેમનું શોષણ કર્યા વગર તેમનો વેગ ઓછો કરે છે. મોડરેટરના પરમાણુંઓનું દળ ન્યુટ્રોનના દળની આસપાસ હોય તો આ પ્રક્રિયા વધુ અસરકારક બને છે. આજ કારણથી મોટા ભાગની પરમાણુ ભઠ્ઠીઓ હલકા પાણીનો ઉપયોગ (H_2O) શીતક તથા મોડરેટર બન્ને તરીકે થાય છે. પાણીના અણુમાં હાઇડ્રોજનના બે પરમાણુઓ હોય છે, જેમાં પ્રોટોનનું દળ લગભગ ન્યુટ્રોન જેટલું જ હોય છે. આથી હલકું પાણી અસરકારક મોડરેટર તરીકે કામમાં આવે છે.

પ્રોટોન (^{1}H) ન્યુટ્રોનને પકડીને ડ્યુટેરોન (^{2}H) ની નાભિ બનાવે છે આથી હલકા પાણીનો ઉપયોગ કરતી પરમાણુ ભઠ્ઠીઓ કુદરતી યુરેનિયમનો ઉપયોગ બળતણ તરીકે કરી શકતી નથી. હલકા પાણીનો ઉપયોગ કરતા રિએક્ટરમાં સમૃદ્ધ યુરેનિયમ વાપરવામાં આવે છે, જેમાં ^{235}Uના સમસ્થાનિકનું પ્રમાણ ૩ ટકા જેટલું વધારવામાં આવે છે.આમ, ^{235}U ની વધુ ઉપલબ્ધિને કારણે શૃંખલા પ્રક્રિયા જાળવી શકાય છે. મોડરેટર તરીકે પાણીનો ઉપયોગ કરતું રીએક્ટર ^{235}Uનો ઉપયોગ ઇંધણ તરીકે કરે છે, જેમાં યુરેનિયમ ઓક્સાઇડ (UO_2) ની વટી (pellet) લાંબી પાતળી નળીઓમાં બંધિત સ્થિતિમાં રાખવામાં આવે છે. શૃંખલા પ્રક્રિયાઓનો દર નિશ્ચિત કરવા માટે કેડમિયમ કે બોરોનથી બનેલા સળીયા વાપરવામાં આવે છે, જે સહેલાઈથી ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરે છે. આવા નિયંત્રક સળીયાઓ રિએક્ટરના મધ્યમાં સહેલાઈથી સરકાવી અંદર / બહાર કાઢી શકાય છે. અને આમ, વિખંડન ક્રિયાનો દર જાળવી શકાય છે. મોટા ભાગની ભઠ્ઠીઓની રચનામાં રિએક્ટરના મધ્યમાં રહેલ ઇંધણની આસપાસ વાતાવરણથી ૧૫૫ ગણા વધુ દબાણે પાણી પ્રવાહિત કરવામાં આવે છે, આથી પાણી ખૂબ ગરમ થવા છતાં પણ ઉકળતું અટકે છે. પાણી મોડરેટર અને શીતક તરીકે કામ કરે જ છે, સાથોસાથ ઉષ્માનો વિનિયમ કરતી રચના (હીટ એક્સેચેન્જર) વડે બાષ્પ પેદા કરી ટર્બાઇનને પણ ફેરવે છે. ભઠ્ઠીનું ઇંધણ દર થોડા વર્ષે બદલવું પડે છે, જેથી તેમાં ^{235}U નો જથ્થો યોગ્ય પ્રમાણમાં જળવાઇ રહે.



આકૃતિ ૫ : નાભિકીય ભઠ્ઠી અથવા રિએક્ટર

બ્રીડર રિએક્ટર - સંવર્ધક નાભિકીય ભઠ્ઠી

કેટલીક વિખંડન ન થઇ શકે એવી પરમાણુ નાભિઓ (અર્થાત્ ચોક્કસ સંખ્યામાં પ્રોટોન તથા ચોક્કસ સંખ્યામાં ન્યુટ્રોન આવેલી હોય તેવી નાભિઓ) ન્યુટ્રોનના શોષણ દ્વારા વિખંડન યોગ્ય બનાવી શકાય છે. દાખલા તરીકે ^{238}U નો વિચાર કરીએ તો તે એક ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરી ^{239}U ની નાભિમાં ફેરવાય છે, યુરેનિયમનો આ સમસ્થાનિક તુરંત એટલે લગભગ ૨૩ મિનિટમાં જ β-ક્ષય (ઇલેક્ટ્રોન ઉત્સર્જન) દ્વારા $^{239}Np_{93}$ નેપચ્યુનીયમ સમસ્થાનિકમાં ફેરવાય છે. $^{239}Np_{93}$ નો અર્ધજીવનકાળ (હાફ-લાઇફ) ૨.૩ દિવસ જેટલો હોય છે, જે દરમિયાન અડધા જેટલી $^{239}Np_{93}$ ની નાભિઓ $^{239}Pu_{94}$ પ્લુટોનિયમમાં ફેરવાય છે. પ્લુટોનિયમનો આ સમસ્થાનિક ૨૪,૦૦૦ વર્ષ જેટલો લાંબો અર્ધજીવનકાળ ધરાવે છે. અહીં આપણે નોંધીશું કે નેપ્ચ્યુનિયમ તથા પ્લુટોનિયમ બંને ''પર-યુરેનિયમ'' (ટ્રાન્સયુરેનિક) તત્વો છે, જે પૃથ્વી પર જોવા મળતા નથી. આનુ કારણ એ છે કે ૪.૫ અબજ વર્ષ પહેલા પૃથ્વી રચાઇ હશે ત્યારે આ બંને તત્વો હાજર રહ્યા હોય તો પણ તેમનો અર્ધજીવનકાળ ટૂંકો હોવાથી આટલા લાંબા સમય સુધી બચી ન શકે. પ્રયોગશાળામાં આજ સુધી પરમાણુ ક્રમાંક Z=118 સુધીના પર-યુરેનિયમ તત્વો પેદા કરવામાં સફળતા મળી છે. આ બધા જ તત્વો ઉચ્ચ પ્રમાણમાં રેડિયોસક્રિય અને ટૂંકો જીવનકાળ ધરાવે છે.

મહત્વની વાત એ છે કે પ્લુટોનિયમનો સમસ્થાનિક $^{239}Pu_{94}$ વિખંડનીય છે, તથા નાભિકીય રીએક્ટરમાં બળતણ તરીકે કે શસ્ત્ર બનાવવામાં તેનો ઉપયોગ થઇ શકે છે. ''બ્રીડર રિએક્ટર''માં આજ ઘટનાનો ઉપયોગ કરીને વિખંડનમાટે નિરૂપયોગી તેવા ^{238}U નું રૂપાંતર ^{239}Pu માં કરવામાં આવે છે, જેની માત્રા રીએક્ટરમાં વિખંડનીય ^{235}U કરતાં ૧૪૦ ગણી વધારે હોય છે. બ્રીડર રિએક્ટરની રચના એવી રીતે કરવામાં આવે છે કે તે ^{235}U નો જેટલો ઉપયોગ કરે તેના કરતાં વધુ ^{239}Pu નું ઉત્પાદન કરે! આનો અર્થ એ થયો કે બ્રીડર રિએક્ટરના બહોળા ઉપયોગ દ્વારા પૃથ્વી પર ઉપલબ્ધ યુરેનિયમના જથ્થાથી જ ^{239}Pu ના સ્વરૂપમાં સદીઓ સુધી ચાલે તેટલું ઇંધણ આપણી નાભિકીય ભઠ્ઠીઓ માટે મળી રહે! પરંતુ ^{239}Pu નો ઉપયોગ પરમાણુ શસ્ત્રો (બોમ્બ) બનાવવામાં થઇ શકે, અને થાય પણ છે! આથી પરમાણુ શસ્ત્રોનું જગતમાં નિયંત્રણ એ એક મોટી સમસ્યા બની રહે છે! બ્રીડર રીએક્ટર કે સંવર્ધક નાભિકીય ભઠ્ઠી ખૂબ ખર્ચાળ હોવા ઉપરાંત તેનું સંચાલન ખૂબ મુશ્કેલીભર્યું હોય છે.

^{238}U ની જેમજ થોરિયમ તત્વનો સમસ્થાનિક $^{232}Th_{90}$ પણ ''ફળદ્રુપ'' છે! $^{223}Th_{90}$ નું રૂપાંતર અન્ય તત્વની વિખંડનીય તેવી નાભિમાં કરી તેનો ઉપયોગ ઇંધણ તરીકે પરમાણુ ભઠ્ઠીમાં થઇ શકે છે. એક ન્યુટ્રોનનું શોષણ કર્યા પછી $^{232}Th_{90}$ બે β-ક્ષયની પ્રક્રિયા દ્વારા ^{233}U માં રૂપાંરિત થાય છે, જે વિખંડનીય છે. ^{238}U નું ^{239}Pu માં, તથા ^{232}Th નું રૂપાંતર ^{233}U માં થવું બ્રીડર રિએક્ટર માટે મૂળભૂત પ્રક્રિયાઓ છે, જે ^{235}U ના સ્વરૂપમાં જેટલું ઇંધણ વપરાય તેનાથી વધુ ઇંધણ ઉત્પાદન કરે છે! ભારત આ સંભાવનામાં વિશેષ ધ્યાન આપી રહ્યું છે, કારણ કે આપણી પાસે યુરેનિયમનો જથ્થો તો સીમિત છે, પરંતુ થોરિયમનો જથ્થો વિપુલ પ્રમાણમાં છે!

નાભિકીય સંલયનમાંથી ઊર્જા

જો બે હલકા તત્વની નાભિઓ સાથે જોડાઇને કોઇ વધુ દળવાળી નાભિનું સર્જન કરે - અર્થાત્ બંને કરતાં ભારે તત્વનું સર્જન કરે- ત્યારે પણ ઊર્જા બહાર પડે છે. આ નવા તત્વની નાભિનું દળ સંયોજન પહેલાની બે નાભિઓના દળના સરવાળા કરતાં ઓછું હોય છે. આ દળનો તફાવત આઇન્સટાઇનના દળ-ઊર્જાના સિદ્ધાંત અનુસાર ઊર્જામાં પરિવર્તિત થાય છે. આ પ્રક્રિયાને ''નાભિકીય સંલયન'' કહેવામાં આવે છે. જો કે આ પ્રક્રિયા દરમિયાન બન્ને હલકા તત્વની નાભિઓ પરના ધનવિદ્યુત ભારને લીધે બાધા આવે છે, કારણ કે, બે ધન વિદ્યુત ભાર વચ્ચે કુલંબના નિયમ અનુસાર અપાકર્ષણનું બળ રહેલું હોય છે, જે બન્ને નાભિઓને એક બીજાની નાભિકીય બળની હદમાં આવતાં અવરોધે છે. બન્ને નાભિઓ એક બીજાની નાભિકીય બળની હદમાં આવે તો જ સંલયન સંભવ બને છે. ડ્યુટેરિયમ (^2H)ની બે નાભિઓને આ કુલંબ અપાકર્ષણની ઉપરવટ થઇ એકબીજાના નાભિકીય બળની હદમાં આવવા માટે લગભગ 200 keV જેટલી ઊર્જાની જરૂર પડે. ઓરડાના ઉષ્ણતામાને કોઇ કણની સરેરાશ ઉષ્મીય ઊર્જા 0.04 eV જેટલી જ હોય છે. તો સંલયન માટે આટલી બધી ઊર્જા કઇ રીતે મેળવી શકાય? આ માટે એક ઉપાય એવો છે કે પદાર્થનું તાપમાન એટલું વધારવું કે જેથી પદાર્થના કણોને તેમની ઉષ્મીય ગતિને લીધે જ પૂરતી ઊર્જા મળી રહે અને કુલંબ અપાકર્ષણના અવરોધની ''દિવાલ'' ઓળંગી શકાય, અને બંને નાભિઓ નજીક આવીને સંલયનની પ્રક્રિયા સંભવ બને. આ પ્રક્રિયાને ''ઉષ્માનાભિકીય સંલયન'' કહેવામાં આવે છે.

ઓરડાના ઉષ્ણતામાને કણોની સરેરાશ ગતિ ઊર્જા ખૂબ ઓછી હોય છે. આથી આપણે સંલયન પ્રક્રિયાની અપેક્ષા રાખી ન શકીએ. સૂર્યના કેન્દ્રમાં ઉષ્ણતામાન $15x10^6$ K જેટલું હોવા છતાં પણ સરેરાશ ગતિશક્તિ 1.9 keV જેટલી જ હોય છે, કે જે 200 keV ના સ્તર કરતાં ઘણી જ ઓછી છે, અને છતાં પણ આપણે જાણીએ છીએ સૂર્યની અંદર નાભિકીય સંલયન પ્રક્રિયા તો થાય જ છે, અને સૂર્ય તથા તારાઓમાં ઊર્જાના ઉત્પાદન માટે આજ મુખ્ય અને પ્રભાવી પ્રક્રિયા છે. તો પછી સૂર્યની અંદર નાભિકીય પ્રક્રિયા કેવી રીતે શક્ય બને છે? દરેક કણની ''સરેરાશ ગતિ ઊર્જા ૧.૯ keV હોવા છતાં આનાથી વધારે ઊર્જા ધરાવતા કણો પણ સૂર્યની અંદર ઉપસ્થિત હોય છે - જો કે તેમની સંખ્યા ઘણી ઓછી હોય છે (જે સંલયન પ્રક્રિયા સંભવ બનાવે છે). વધુમાં એવું પણ બને કે, મોટા ભાગના કણોની ગતિઊર્જા કુલંબ સ્તરથી ઓછી હોવા છતાં મોટા ભાગ નાં કણો આ સ્તર કે ''દિવાલ'' ને ક્વોન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રની ઘટના અનુસાર ભેદી જાય અને સંલયન સંભવ બને - કુલંબની ''દિવાલ''માં છીંડુ પાડીને! અને મુખ્યત્વે આ જ પ્રક્રિયા દ્વારા સૂર્યની અંદર સંલયન સંભવ બને છે.

આપણી પાસે નાભિકીય વિખંડન દ્વારા ઊર્જા ઉત્પન્ન કરતાં રિએક્ટર તો ઘણાં છે, પરંતુ શું આપણે નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયન દ્વારા ઊર્જાનું ઉત્પાદન કરતાં રિએક્ટર્સ્ કે સંયંત્રો બનાવી શકીએ? સમુદ્ર તથા મહાસાગરોમાં તો પાણીના સ્વરૂપમાં સંઘરાયેલો હાઇડ્રોજનનો અઢળક જથ્થો આપણને ઉપલબ્ધ છે, અને આમ સંલયન દ્વારા ઊર્જા ઉત્પન્ન કરવા માટેની ક્ષમતા તો ઘણી છે. ખૂબ જ રસપ્રદ વાત છે ને? ઓક્ટોબર ૧૯૫૨થી પૃથ્વી પર સંલયન પ્રક્રિયા શક્ય બની, જ્યારે સર્વપ્રથમ સંલયન બોમ્બ, અથવા હાઇડ્રોજન બોમ્બનો વિસ્ફોટ કરવામાં આવ્યો હતો. પરંતુ ઉષ્માસંલયન પ્રક્રિયામાં આવશ્યક ઊંચું તાપમાન કેવી રીતે મેળવવામાં આવ્યું હતું? સંલયન બોમ્બનો પલિતો ચાંપવા ઊંચું ઉષ્ણતામાન મેળવવામાં આવ્યું હતું એક પરમાણું નાભિકીય વિખંડન બોમ્બનો ઘોડા (trigger) તરીકે ઉપયોગ કરીને! પરંતુ નિયંત્રિત ઉષ્માનાભિકીય સંલયનને ઊર્જાના સ્રોત તરીકે વિકસાવવાનું કામ તો અત્યંત મુશ્કેલીભર્યું સાબિત થઇ રહ્યું છે, જોકે આ દિશામાં જોશીલા પ્રયત્નો થઈ રહ્યા છે. ઘણા લોકો તો એવું માને છે કે નિયંત્રિત સંલયન દુનિયાને વિદ્યુત ઊર્જા પૂરી પાડવા માટેનો આખરી ઉપાય સિદ્ધ થશે!

નાભિકીય ઊર્જા માત્ર શક્તિ કે શસ્ત્રો માટે નથી!

નાભિકીય ઊર્જાનો અર્થ માત્ર પરમાણુ ભઠ્ઠી કે પરમાણુ શસ્ત્રો તેવો નથી! નાભિકીય ઊર્જા સુરક્ષિત છે, પર્યાવરણને સાનુકુળ છે, અને અલગ અલગ ક્ષેત્રોમાં તેના અનેક ઉપયોગો છે. સ્વાસ્થ્ય અને ચિકિત્સાવિજ્ઞાન, ઉદ્યોગ, જળવિજ્ઞાન, ખોરાકની જાળવણી તથા ખેતીવાડી, ઈત્યાદિ. ભારતમાં ખાસ કરીને નાભિકીય કૃષિવિજ્ઞાન ક્ષેત્રે ભાભા પરમાણુ અનુસંધાન કેન્દ્રે (BARC) ઉત્પરિવર્તિત (મ્યુટન્ટ) મગફળીનું બિયારણ વિકસાવ્યુ છે, જેમાં દેશના મગફળીના કુલ વાવેતરનો ૨૫ ટકા જેટલો ફાળો છે. તેમ જ અડદ નું ઉત્પરિવર્તિત બિયારણ રાષ્ટ્રીય પાકના ૨૨% વાવેતર જેટલું યોગદાન આપે છે. મહારાષ્ટ્રમાં તો આ ટકાવારી ૯૫% જેટલી ઊંચી છે. ભવિષ્યની આપણી ઊર્જાની જરૂરિયાત તથા આર્થિક વિકાસ માટે નાભિકીય ઊર્જા આપણા દેશ માટે આવતા દશકોમાં અત્યંત ઉપયોગી પુરવાર થશે તે હકીકત છે. ચોક્કસ, ૧૯૧૧ માં અર્નેસ્ટ રુધરફોર્ડે પરમાણુ નાભિની શોધ, અને ૧૯૧૩ માં નીલ્સ બોહરે પરમાણુ સંરચનાની શોધ કર્યા પછી આપણે ખૂબ લાંબી મજલ કાપી છે!

સંદર્ભ

1. Sourcebook on Atomic Energy by S. Glasstone 1967 Pub: Van Nostrand
2. Concepts of Modern Physics by Arthur Beiser 2003 Pub: Tata Mc Grow- Hill
3. Nuclear Physics by Irving Kaplan 1962 Pub: Addison-Wesley / Oxford & IBH
4. Quantum Physics by Robert Eisberg & Robert Resnick 2002 John Wiley
5. Physics by David Halliday, Robert Resnick, and Kenneth S Krane 1992 John Wiley
6. Numerous articles in Wikipedia

1986 માં સ્થપાયેલી, પ્લાઝમા સંશોધન સંસ્થા (આઈપીઆર) એ ભારત સરકારના પરમાણુ ઉર્જા વિભાગ હેઠળ પ્લાઝમા વિજ્ઞાન અને તકનીકમાં સંશોધન અને વિકાસને આગળ ધપાવવા માટે સ્વાયત્ત સંસ્થા છે, જેમાં ચુંબકીય રીતે મર્યાદિત પ્લાઝમા (ટોકૉમાક્સ) નું નિર્માણ કરવું, પ્લાઝ્મા આધારિત ટેક્નોલોજીઓના ઔદ્યોગિક અને સામાજિક કાર્યક્રમોને પ્રોત્સાહન આપવું, અને ભારતમાં પ્લાઝમા સંશોધનને ઉત્તેજન આપવા પર ભાર મૂક્યો છે. આઈપીઆર એ સ્વદેશી રીતે ભારતનું પ્રથમ ટોકૉમક "આદિત્ય" અને અદ્યતન ટોકમોક મશીન "સ્ટેડી સ્ટેટ ટોકૉમાક, એસએસટી -1" નું નિર્માણ અને કમિશન કર્યું છે.

પ્લાઝમા અનુસંધાન સંસ્થા

ઇન્દિરા બ્રિજ નજીક, ભાટ, ગાંધીનગર

Tel : 079-2396 2000   Web : www.ipr.res.in

પરમાણુ ઉર્જા વિભાગ દ્વારા સહાયક સંસ્થા, ભારત સરકાર